Die Diffusion

in ihren

Beziehungen zur Pflanze.

Theorie der Aufnahme, Vertheilung und Wanderung der Stoffe in der Pflanze.

Ein

Beitrag zur Lehre von der Ernährung der Pflanze

für

Pflanzenphysiologen, Agricultur-Chemiker, Landwirthe und sonstige Freunde der Pflanzenkunde

von

Dr. Wilhelm Schumacher
in Randerath.

Mit in den Text gedruckten Holzschnitten.

Leipzig & Heidelberg.
C. F. Winter'sche Verlagshandlung.
1861.

Meinem Freunde

Herrn

Wilhelm Eckerts

Apotheker in Randerath

gewidmet.

Vorwort.

Wenn es den Physiologen auch schon lange bekannt war, daß die Bewegungserscheinungen der flüssigen Materie im Thierkörper und in der Pflanze eine Membrandiffusion, eine Diffusion des flüssigen Stoffes durch die permeable Membran der Zellen — Endosmose und Exosmose — sei, so war dies jedoch auch Alles, was man über die Beziehungen der Diffusion zu der Lebensthätigkeit der Pflanze und ihrer Zellen wußte; die Physik gab uns keine genügende Aufschlüsse über das Wesen der Membrandiffusion, und die Physiologie verfolgte nicht einmal das von der Physik erarbeitete, freilich geringe, Material. Von Physiologen dazu bestimmt, wandte ich meine chemische Thätigkeit diesen Erscheinungen zu, hielt dabei aber ganz vorzüglich die Pflanze im Auge. Ich studirte zunächst die Diffusion im Experimente, um sichere Ausdrücke für die Gesetze dieser Erscheinungen zu erlangen, verfolgte sie dann aber auch in der Pflanze — das Experiment ließ die Diffusion in einer bestimmten Gestaltung erkennen, und so und nicht anders konnte es in der Pflanze sein; denn die flüssige Materie wird in der lebenden Pflanze gewiß nicht von anderen Kräften beherrscht, wie in dem Experimente; was uns das Experiment andeutete, das mußten wir in der Pflanze aufsuchen.

Eine große Schwierigkeit war es hierbei, ein Material aufzufinden, welches im Stande war, die pflanzliche Zellenmembran im Experimente auf genügende Weise zu ersetzen. An die thierischen Häute hierbei zu denken, welche von meinen Vorgängern fast ausschließlich zu Diffusions-

versuchen verwendet wurden, war durchaus nicht zulässig, da es, ganz abgesehen von den vielen Uebelständen, welche sie bei ihrer Benutzung zu Diffusionsapparaten gezeigt hatten, gewiß sehr gewagt sein würde, die für sie gefundenen Resultate auf die Cellulosemembran der Zelle zu übertragen; die Benutzung pflanzlicher Membrane hatte auch so viele Uebelstände, daß ich mich genöthigt sah, auf dieselben zu verzichten; hingegen benutzte ich mit ausgezeichnetem Erfolge Membrane aus Nitrocellulose, wie sie sich aus Collodium abscheiden, wenn dessen Lösungsmittel verdunstet, ein Stoff, von dem ich später nachweisen werde, daß er der Cellulosemembran der Pflanzenzelle hinsichtlich der Diffusion gleich gesetzt werden kann. Eben so viele Schwierigkeiten machte der Diffusionsapparat und die Untersuchungsmethode; durch viele vergebliche Arbeiten mußte ich mich überzeugen, daß die bisher gebrauchten Apparate, die einfachsten sowol (Dutrochet), als auch die complicirtesten (Vierordt), nicht geeignet waren, zuverlässige Resultate zu geben. Die von mir benutzten Apparate und meine Methode entsprechen, wie man sich überzeugen wird, durchaus allen Anforderungen und haben den Vorzug großer Einfachheit.

Leider gestatteten meine Verhältnisse es nicht, den vorgefaßten Plan ganz durchzuführen; manche Erscheinung der Membrandiffusion konnte ich nicht so verfolgen und aufklären, wie ich es wünschte, und wie es nothwendig war; Das, was gefördert wurde, war indeß hinreichend, um die Bewegungserscheinungen der flüssigen Materie in der Pflanze unter bestimmte Gesetze zu bringen.

Während ich so bemüht war, die Diffusionserscheinungen zu studiren, erscholl Liebig's Verdammungsurtheil über die bisherige Theorie von der Ueberführung der anorganischen Stoffe in die Pflanze — sie ist „ein großer Irrthum gewesen". Wie schwer man sich von dieser Theorie trennen konnte, das zeigt so manche Arbeit, welche, um zu ihren Gunsten zu entscheiden, gemacht wurde; die vorzüglichste Ursache aber, daß man diese Theorie bis heute noch nicht allgemein aufgab, mag wol der Umstand gewesen sein, daß man nicht abzusehen vermochte, nach welchen physikalischen Gesetzen der Sache neue Seiten abzugewinnen seien, da man ja mit den Erscheinungen der Diffusion so wenig bekannt ist. Freilich überzeugt man sich immer mehr von der Richtigkeit des Liebig'schen

Ausspruches, und ist man bemüht, eine gegründete Einsicht in diese Vorgänge zu erlangen. Wir verdanken hierin wol viel der anerkennenswerthen Thätigkeit der Agriculturchemiker Knop, Julius Sachs, Arendt, Alexander Müller, Peters u. a., die in ihrem Organ für wissenschaftliche Forschungen auf dem Gebiete der Landwirthschaft, „die landwirthschaftlichen Versuchsstationen“, vieles schätzenswerthe Material zur Pflanzenphysiologie geliefert haben. Mit den Erscheinungen der Membrandiffusion vertraut, mußte es leicht sein, die wahre Ursache des Ueberganges der flüssigen Stoffe in die Pflanze und der Verbreitung derselben durch die Pflanze zu finden; denn die Zelle ist, wenn ich mich so ausdrücken darf, hinsichtlich der Endosmose und Exosmose flüssiger Stoffe weiter nichts als der einfachste Diffusionsapparat.

Ich habe in der ersten Abtheilung des vorliegenden Werkes die Diffusion als physikalischen Proceß behandelt, ohne mich weiter um ihre Beziehungen zur Pflanze zu kümmern; ich bemühte mich, diesen wichtigsten Theil der Physik der Pflanze in möglichster Vollständigkeit, wenigstens so weit meine Arbeiten dieses erlaubten, darzulegen. In der zweiten Abtheilung habe ich dann die Diffusion in der Pflanze nach allen Seiten hin untersucht und meine Ansichten, so viel wie möglich, durch experimentelle Thatsachen und chemische Untersuchungen begründet; überall war dies zwar nicht möglich, doch glaube ich, nie den inductiven Weg bei Entwicklung einer Ansicht verlassen zu haben. Die meisten bisherigen phytochemischen Arbeiten sind leider nicht darnach angethan, um eine auch nur einigermaßen befriedigende Einsicht in die Lebensvorgänge der Pflanze zu gestatten, sie sind von keiner wesentlichen Bedeutung für die Physiologie, und es wird dies nicht eher anders werden, als bis die Phytochemie die Physiologie als ihre Führerin mehr anerkennt. Ich habe in dem Capitel: „Die Vertheilung und Verbreitung der Stoffe über die Pflanze“ die Beziehungen zwischen Physiologie und Chemie vielfach hervorgehoben; man wird sich bei Durchlesung desselben überzeugen, wie wenig das analytische Material physiologische Erörterungen gestattet, man wird einsehen, welche Wege die Phytochemie einzuschlagen hat, um der Physiologie von rechtem Nutzen sein zu können. Wenn ich mich in diesem Capitel zuweilen verleiten ließ, auf Sachen hinüberzu-

schweifen, die nicht in naher Beziehung zur Diffusion stehen, so wird man mir dies wol verzeihen: wie ich selbst, wird auch jeder Andere nicht gern so ohne Weiteres von einem interessanten Gegenstande scheiden, wenn er einmal mit ihm in Berührung gekommen ist.

Ich bin nicht eitel genug, meine Ansichten alle als unfehlbar hinzustellen; genauere Untersuchungen mit besseren analytischen und optischen Hülfsmitteln, als sie mir zu Gebote standen, werden manche meiner Ansichten hinsichtlich der Diffusion in der Pflanze verbessern, manche vielleicht auch als unrichtig erkennen lassen — und werde ich jede Aufklärung eines Irrthums mit Freuden begrüßen.

Randerath, den 9. Mai 1861.

Dr. Wilhelm Schumacher.

Inhaltsübersicht.

Nachträge und Ergänzungen.

Nachträge und Ergänzungen.

I. z. S. 76. Geschlechtsleben der [illegible]. [illegible]
II. z. S. 87. [illegible]
III. z. S. 88. Schulz-Fleeth's [illegible]
IV. z. S. 103. Knop's [illegible] mit [illegible]. [illegible] von [illegible] durch die Blätter.
V. z. S. 104. Julius Sachs über die Aufnahme von [illegible] durch die [illegible].
VI. z. S. 110. Schulz-Fleeth's [illegible] der [illegible] Aufnahme der [illegible] Stoffe in die Pflanze.
VII. z. S. 131. Die [illegible] des [illegible].
VIII. z. S. 139. Die [illegible] der [illegible]. [illegible]
[illegible]

Das Streben des menschlichen Geistes in die Tiefen der Natur einzudringen, das geheimnißvolle Zusammenwirken der Naturkräfte, welches unsrer Welt ihr Dasein giebt, zu erforschen, hat zwei Richtungen, die ästhetische und philosophische, welche in einem dem Geiste innewohnenden Drange ihre Quelle hat, und die practische, die aus der Nothwendigkeit, die Natur den Zwecken des Menschen dienstbar zu machen, hervorgeht. So wurde auch die Pflanzenphysiologie geschaffen und gefördert. Anfänglich arbeitete der Forschungsgeist nur in der ersteren Richtung; da aber das Leben des Menschen so unzertrennlich an die Pflanzenwelt gefesselt ist, mußte er schon früh in seiner practischen Richtung hervortreten. Die Landwirthschaft ist es hauptsächlich, welche dem Menschen seine Nahrungsmittel liefert, d. h. die Naturkräfte, welche Thier und Pflanze erzeugen, so leitet, daß dem Bedürfnisse des Menschen mehr genügt wird, als wenn die Naturkräfte sich selbst überlassen bleiben. Die Pflanzenphysiologie, jene Wissenschaft, welche uns das Leben der Pflanzen erschließt, muß demnach die hervorragendste Führerin der Landwirthschaft sein, und es kann uns nicht wundern, wenn der größte Theil der Pflanzenphysiologen im Interesse der Landwirthschaft arbeitet, das practische Ziel der Forschung vorwiegend im Auge hat. Dieser Umstand ist es jedoch auch, welcher der Pflanzenphysiologie eine eigenthümliche, leider wenig fördernde Richtung gegeben hat. Die Aufgabe der practischen Landwirthschaft ist, das Leben der Pflanzen und Thiere zur möglichst größten, zweckmäßigsten und billigsten Production von Lebensmitteln für den Menschen zu leiten, ohne dabei aber den Boden, welcher die Pflanzen erzeugt, der Erschöpfung, d. h. Unfruchtbarkeit entgegen zu führen; es muß deshalb die Aufgabe der Wissenschaft sein, das Leben der Pflanze und des Thieres zu

erforschen. Zuerst muß die Wissenschaft die Geheimnisse des Pflanzen- und Thierlebens bis zu einem gewissen Grade enthüllen, dann erst kann sich auch die Landwirthschaft bis zu jener Höhe von Selbstständigkeit emporschwingen, wo man nach Naturgesetzen wirthschaftet; so lange aber jene noch in Dunkel gehüllt sind, wird in der practischen Landwirthschaft rohe d. h. unwissenschaftliche Erfahrung der Leitstern des Handelns sein.

Aus der großen Reihe der Pflanzenarten ist es nur eine verhältnißmäßig kleine Zahl, welche in der Landwirthschaft Berücksichtigung findet, und deren Anbau immer eine gewisse Richtung hat. Bei der einen Pflanze ist unser Augenmerk vorzüglich auf die Wurzelentwicklung, bei einer andern auf die Blatt-, bei einer dritten auf die Samenentwicklung gerichtet; kurz sehr verschieden ist der Zweck des Pflanzenbaues. Die Leitung des Pflanzenlebens je nach der Verschiedenheit des Zweckes ist die Pflanzencultur; jene Pflanzen, welche wir durch unsre Eingriffe gezwungen haben, ihren natürlichen Entwickelungsgang zu verlassen, nennen wir Culturpflanzen. Die Pflanzencultur ist bis jetzt nur das Werk des Zufalls oder einer ganz wissenschaftslosen Erfahrung gewesen; denn wir kennen noch nicht die Bedingungen der Lebensvorgänge, die physiologisch-chemischen Processe in der Pflanze. Die Wissenschaft war deshalb wol in der Neuzeit bemüht, die naturgesetzlichen Bedingungen der Pflanzencultur zu erforschen, und diese Bemühungen drängten die physiologischen Forschungen in jene erfolglosen Bahnen, die heute noch von den meisten Agriculturchemikern beschritten werden. Das Leben der Culturpflanzen zu erforschen ist also das Ziel der Agriculturchemie, und es scheint fast, als wenn sie mit fieberhafter Hast auf ihr Ziel losstürme, als wenn sie auf dem gradesten Wege dahin gelangen wolle, statt weite, aber sichere Umwege zu wählen. Man wendet sich direct an die Culturpflanze, man will sie zwingen die Geheimnisse des pflanzlichen Lebens zu offenbaren; allein vergebens waren auf diesem gradesten Wege alle Anstrengungen, man vermochte noch nicht sich Bahn zu brechen; ja der Schleier ist noch so wenig gelüftet worden, daß wir noch nicht einmal eine gegründete Ahnung von den betreffenden Vorgängen haben, wenigstens muß dies derjenige bekennen, der sich nicht selbst belügen will. Das aber ist der unlogische Gedanke in der Agriculturchemie, daß sie grade die Culturpflanzen zum Gegenstande der Forschung macht, Pflanzen, die aus dem normalen Lebenskreise herausgetreten, deren Organisation und deren Lebensverhältnisse so complicirt sind. Verfolgen wir die Entwicklung

der Pflanzenanatomie und der Pflanzenphysiologie, insoweit sie durch die Anatomie begründet wurde, so wird es uns bald auffallen, daß der Forscher nicht an einzelnen wenigen Pflanzen alle Lebensvorgänge und die Organisation studirt, sondern daß er mit dem Mikroskop in der Hand das ganze Pflanzenreich durchsucht, um eine Pflanzengruppe zu finden, welche in der einfachsten oder ausgeprägtesten Form die Erscheinung darbietet, die er zu beobachten wünscht, besonders aber daß er in die niedrigstorganisirten Pflanzenfamilien hinuntersteigt, hier die Lebensvorgänge, wo er sie unter den einfachsten Verhältnissen antrifft, zuerst studirt und sie von hier aus in die höher organisirten Familien verfolgt. Das ist der Weg der exacten Naturforschung, auf ihm wurde die genannte Wissenschaft so unendlich gefördert. Diesen Weg muß auch der physiologische Chemiker, der Agriculturchemiker betreten, will er zum Ziele gelangen. Algen, Pilze, Flechten und Moose sind meines Erachtens das geeignetste Material zu chemisch-physiologischen Untersuchungen, um Anhaltspunkte zur Erforschung der höherorganisirten Pflanzen zu gewinnen. Bei ihnen sind die mikroskopischen und mikrochemischen Arbeiten leicht, und viele von ihnen liefern auch Masse genug zur chemischen Analyse. Hier muß also die Arbeit beginnen; auf die Erforschung der Lebensvorgänge unsrer Culturpflanzen müssen wir vorläufig aber verzichten.

Ein noch größerer Hemmschuh des Fortschritts war die Meinung vieler Jünger der Agriculturchemie, daß die Wünsche der practischen Landwirthschaft maßgebend seien für ihre Arbeiten. Was kümmert der practische Landwirth als solcher sich um die Lebensvorgänge der Pflanze? Ihm waren bis jetzt nur D ü n g u n g und E r n d t e die Pole, um welche sich Praxis und Wissenschaft drehen sollten. So kam es denn, daß man in Düngungsversuchen, Bodenanalysen und dergl. das Heil der Landwirthschaft und das Heil der Pflanzenphysiologie suchte. Wozu hat diese Unzahl von Versuchen und Analysen genützt? Sie haben uns um keinen Schritt weiter gebracht. Man geht mit diesen Arbeiten um die Sache selbst herum, wie die Katze um den heißen Brei. Um das, was zwischen dem Aufbringen des Düngers und der Saat einerseits und der Erndte andrerseits im Boden und in der Pflanze vorgeht, kümmert man sich nicht; man denkt nicht daran, oder will nicht daran denken, daß hier gerade die Geheimnisse des pflanzlichen Lebens verborgen liegen. Wie weit man auf diesem Wege gekommen ist, läßt sich für das Allgemeine bemessen an den Worten eines Agriculturchemikers, Dr. Grouven, welche

er in Bezug auf Rübenproduction jüngst aussprach.[1]) Eine Versammlung practischer Landwirthe wünschte den besten Dünger für Zuckerrüben kennen zu lernen. Der Chemiker übernahm es auf diese Frage zu antworten, und nach vielen Versuchen kam er zu dem Schlusse, „daß, wenn er (der Landwirth) gern und zuverlässig wissen will, welcher Dünger für seine Rüben überhaupt am besten ist, er dies selbst probire, und daß kein Andrer, und wäre er auch der erfahrendste Rübenbauer oder der erste Agriculturchemist ihm in dieser Beziehung einen unfehlbaren Rath zu geben im Stande ist." Probiren!! — Unsere Urgroßväter waren soweit auch schon und hatten keine kostspieligen Versuchstationen. Derselbe Chemiker sagt an einer anderen Stelle[2]): „Man muß sich von dem Glauben losreißen, als könnte durch dergleichen comparative (Düngungs-) Versuche auf unsern Feldern irgend ein Beitrag zur Statik des Rübenbaues (oder überhaupt der Pflanzenproduction, d. Verf.) beschafft werden. Auf jenem Wege läßt sich dieses Ziel nicht erreichen, selbst wenn der Versuche Tausende angestellt würden." Ich führte diese Worte um so lieber an, als sie aus dem Munde eines Chemikers kommen, der durch seine vielen mühsamen und exacten Düngungsversuche zu einem Urtheile berechtigt ist. Würde die Zeit, welche auf solche Düngungsversuche und ähnliche Arbeiten verwandt wird, nicht besser zu exacten physiologischen Versuchen und Untersuchungen benutzt? Diese fördern nur wissenschaftlich verarbeitbare Thatsachen; jene gleichen einem Herumtappen im Dunkeln und stürzen uns in ein unentwirrbares Chaos hinein. Ich brauche ja nur an den Streit der Stickstoff- und Mineraltheorie zu erinnern. Glücklicher Weise hat ein großer Theil der Agriculturchemiker Dies erkannt und sich auf den Weg der exacten Naturforschung begeben.

Der Pflanze kommt in der Natur ausschließlich das Vermögen zu, die anorganischen Stoffe in organische zu verwandeln. Luft, Wasser und Boden sind die Quellen, aus welchen die anorganischen Stoffe von der Pflanze aufgenommen werden; physikalische und chemische Kräfte führen sie ein in die Pflanze und wandeln sie darin in organische Stoffe um. Früher träumte man von einer nur in der lebenden Pflanze wohnenden

---

[1]) Zeitschrift des landwirthschaftlichen Vereins für Rheinpreußen. Jahrg. 1860, Heft 3, S. 82.

[2]) Zeitschrift des landwirthschaftlichen Vereins für Rheinpreußen. Jahrg. 1860, Heft 3, S. 81.

Kraft, welche solche Dinge ausschließlich zu bewirken vermöge — die Lebenskraft; doch dieses Hirngespinnst ist gefallen. Auch der Chemie ist es gelungen, organische Stoffe aus anorganischen künstlich darzustellen, und dürfen wir uns der Hoffnung hingeben, daß diese Kunst aus ihrem heutigen embryonalen Zustande sich zu bedeutender Höhe emporschwingen wird. Um nun die Lebensvorgänge der Pflanze zu erforschen, muß die erste Frage die sein: Wie und unter welchen Bedingungen werden in der Pflanze die anorganischen Stoffe in organische umgewandelt, und welche bestimmte anorganische Stoffe sind zur Bildung gewisser organischer Stoffe nöthig. Die Antwort auf diese Frage bildet den Mittelpunkt der Physiologie und ist die Grundlage der rationellen Landwirthschaft. Man hat sich zwar vielfach in Vermuthungen ergangen, allein wir müssen gestehen, daß wir auch gar nichts darüber wissen.

Der Gegenstand, welchen wir in diesem Schriftchen besprechen wollen, die Ueberführung der Nahrungsstoffe in die Pflanze und die Verbreitung derselben von der Wurzel zu den andern Theilen, ist eine Vorfrage jener oben aufgestellten Frage. Von welcher Wichtigkeit dieser Gegenstand ist, brauch' ich dem Physiologen nicht erst zu sagen, und war eine gründliche Untersuchung um so nöthiger, als noch allgemein irrige Ansichten darüber verbreitet sind. Der physikalische Proceß der Aufnahme der pflanzlichen Nahrungsstoffe in die Pflanze hat bis vor wenigen Jahren kaum die Aufmerksamkeit der Pflanzenforscher gefesselt; man dachte nicht daran, daß die geltende Theorie falsch sein könne und hielt es deshalb auch für überflüssig, die Sache neuen Versuchen zu unterwerfen. Liebig mag wol der erste gewesen sein, welcher die geltende Theorie entschieden anzweifelte; er kam zu dem Resultate, daß sie „ein großer Irrthum" sei.[1]) Aber Liebig gab uns nichts Neues für den alten Irrthum. Die alte Theorie war einfach und läßt sich mit wenigen Worten in dem Folgenden zusammenfassen. Die pflanzlichen Nahrungsstoffe sind im Wasser oder in der Feuchtigkeit des Bodens gelöst. Die Pflanzen verdunsten durch ihre Blätter Wasser; die Verdunstung in den Blättern hat die Aufnahme neuer Mengen Wasser durch die Wurzeln zur Folge. Mit dem in die Wurzeln eintretenden Wasser werden alle in ihm gelösten Stoffe mit in die Pflanze übergeführt, lagern sich dort ab oder werden in organischen

---

[1]) Liebig, Naturwissenschaftliche Briefe über moderne Landwirthschaft. 1859. S. 29.

Stoff umgewandelt. Nach dieser Theorie mußte also die in der Pflanze befindliche Menge anorganischer Stoffe in geradem Verhältniß zu der verdunsteten Menge Wasser stehen; je mehr Wasser verdunstete, um so viel mehr anorganische Stoffe werden in die Pflanze aufgenommen, und, insofern der Stoffwechsel von der Gegenwart der anorganischen Stoffe abhängt, müßte die Bildung des organischen Stoffes zum Theil auch von der Größe der Verdunstung abhängen. Auch müßten sich in der Pflanze die anorganischen Stoffe in demselben Zahlenverhältnisse befinden, wie in dem Wasser oder in der Bodenfeuchtigkeit, worin die Pflanzen vegitiren; wenn z. B. in dem Wasser das Verhältniß des Kalkes zur Magnesia wie 2:1 sei, dann müßte es so auch in der Pflanze sein. Aber alles Dies ist ein großer Irrthum gewesen (Liebig). Diese Theorie beruht nur auf Voraussetzungen, sie war nie durch Experimente bewiesen. Schon vor vielen Jahren hat de Saussure durch zahlreiche Versuche mit in Wasser vegetirenden Pflanzen bewiesen, daß die Menge der aus dem Wasser in die Pflanze übergetretenen anorganischen Stoffe durchaus nicht im Verhältniß zu der verdunsteten Menge Wasser stand. Wenn von der Flüssigkeit (verdünnter Salzlösung), worin die Versuchspflanzen lebten, 50% durch die Pflanze verdunstet war, so mußte nothwendig auch, war die besprochene Ansicht richtig, 50% des in der Flüssigkeit gelösten Salzes mit in die Pflanze übergegangen sein; de Saussure's Versuche ergaben aber statt 50% höchstens 20%, bei manchen traten nur sehr geringe Mengen ein — Resultate, die weit entfernt waren diese Theorie zu stützen oder zu bestätigen. Ich werde später auf die genannten Versuche, welche von den Pflanzenphysiologen und Agriculturchemikern gar wenig gewürdigt wurden, ausführlich zurückkommen. Ebensowenig bestätigte es sich, daß das Verhältniß der einzelnen anorganischen Stoffe in der Pflanze gleich sei dem in der Nahrungsflüssigkeit. Ich will hier nur auf einen Versuch Liebig's hinweisen, der sich auf Wasserlinsen und das Wasser, worin sie vegitirt hatten, bezieht.[1])

---

1) Liebig, a. a. Orte S. 42.

	Asche von Wasserlinsen — In 100 Theilen der schwachgeglühten Asche sind enthalten	Salzrückstand des Wassers In 100 Theilen des Salzrückstands sind enthalten
Kalk	16,82	35,00
Bittererde	5,08	12,26
Kochsalz	5,90	10,10
Chlorkalium	1,45	—
Kali	13,16	3,97
Natron	—	0,47
Eisenoxyd	7,36	0,72
Phosphorsäure	8,73	2,62
Schwefelsäure	6,09	8,27
Kieselsäure	12,35	3,24

Während in der Asche sich der Kalk zur Bittererde verhält wie 3,3 : 1 und der Kalk zum Kali wie 1,3 : 1, verhält sich in dem Wasser der Kalk zur Bittererde 2,8 : 1 und der Kalk zum Kali wie 8,8 zu 1. Das Wasser enthält nur geringe Mengen Eisenoxyd in 100 Th. Salzrückstand; hingegen ist der procentische Gehalt der Asche an Eisenoxyd sehr groß. Aus letzterer Thatsache geht hervor, wie sich ein Stoff in der Pflanze anhäufen kann. Man sieht daraus, daß sich in der Asche die mineralischen Stoffe in einem ganz anderen Verhältniß finden als in dem Wasser.

Auf diesen Umstand wurde man schon sehr früh aufmerksam, und um eine Erklärung dafür zu haben, schrieb man der Pflanze ein eignes Vermögen zu, sich die Stoffe auszuwählen je nach dem Bedarf — Wahlvermögen —, oder man nahm an, daß die Zellenmembran der Wurzeln, vermöge einer gewissen Verwandtschaft zu den anorganischen Stoffen den einen Stoff leichter durchließe (durchfiltrire) als den andern. So lange wie man den anorganischen Stoff in der Pflanze von der Lebenskraft beherrschen ließ, konnte das Wahlvermögen sich in einigem Ansehen erhalten, weil man ihr, der Lebenskraft, alle unbegriffenen und wunderbaren Dinge zuschreiben durfte; als aber die Lebenskraft fiel, als man gar beobachtete, daß die Pflanze Stoffe in größter Menge aufnahm, die als Gift auf sie wirken und sie tödten, wie Kupfervitriol (de Saussure), da mußte man auch an dem Wahlvermögen verzweifeln. Das Wahlvermögen war ein unbegriffenes Ding, man wußte nicht, wie es entstand, man wußte nicht, wie es wirkte; man hatte es im Drange der Noth-

wendigkeit geschaffen. Glücklicher schon war der Gedanke, daß die Verwandtschaft der Zellenmembran zu den aufzunehmenden mineralischen Stoffen den Eintritt der letzteren regulire; es ließ sich dies wenigstens durch physikalische Thatsachen erklären. Ich werde später zeigen, daß wirklich etwas Aehnliches bei der Zellenmembran besteht; dennoch reicht diese Eigenthümlichkeit nicht hin die Sache zu erklären, und umsoweniger dann, wenn man die Verdunstung mit der Aufnahme durch die Wurzeln in Verbindung bringt.

Es würde mich zu weit führen, hier alle Inconsequenzen der in Rede stehenden Theorie heranzuziehen; nur auf eine will ich noch hindeuten, welche allein jedoch hinreichen dürfte, die Unzulänglichkeit der Theorie zu beweisen. Bekanntlich sind die im Wasser untergetaucht vegetirenden Pflanzen sehr reich an Mineralsubstanzen; wie nun haben diese Pflanzen die mineralischen Stoffe aufgenommen? Hier kann von einer Verdunstung nicht die Rede sein. Es bleibt freilich nichts Anderes übrig, als diese Pflanzen eigenen, den anderen Pflanzen fremden Gesetzen gehorsam sein zu lassen. Ich bezweifle aber, daß die Natur so inconsequent sein soll, Gebilde, die aus gleichen Elementarorganen bestehen, aus Zellen, welche gleiche physikalische Eigenschaften besitzen, sich auf dieselbe Weise entwickeln und bilden und zu ihrer Entwickelung anorganische Substanzen aufnehmen und umbilden müssen, verschiedenen, himmelweit verschiedenen Gesetzen zu unterwerfen. Die Gesetze der Nahrungsmittelaufnahme müssen für alle Pflanzen gleich sein, mögen sie nun Wasser verdunsten oder nicht; hier wie dort sind es gleichfunctionirende Zellen, welche die Aufnahme besorgen. Schon der Umstand, daß einzelne Species Einer Gattung außerhalb des Wassers leben, Spaltöffnungen haben und verdunsten, während andere Species derselben Gattung untergetaucht im Wasser leben und nicht verdunsten, deutet an, daß hier ein allgemeines Gesetz herrsche. Lemna trisulca lebt untergetaucht in stehendem Wasser, L. minor, gibba, polyrrhiza schwimmen auf dem Wasser und verdunsten; Isoëtes lacustris lebt im Wasser und hat keine Spaltöffnungen, I. Hystrix und Dirieui, auf dürren Heiden wachsend, verdunsten durch ihre Spaltöffnungen. Unzählige solcher Beispiele kann der Botaniker aufzählen.

Trotz aller dieser Thatsachen sind die meisten Agriculturchemiker und gar viele Pflanzenphysiologen noch Anhänger der alten Theorie, und hat man sich bis jetzt wenig bemüht, Klarheit in die Sache zu bringen.

Von den wenigen darauf gerichteten Versuchen hat ein jüngst von Knop veröffentlichter großes Interesse, wenngleich er auch die zweifelhaft gewordene Theorie bestätigt. Knop zieht aus dem Resultat dieses Versuchs folgenden Schluß: „Die Pflanze (eine Zwergbohne, welche in Brunnenwasser sich entwickelt hatte) hat ziemlich genau eben so viel Mineralbestandtheile aufgenommen, als dem Gehalt des durch sie verdunsteten Wassers entspricht, und es hat eine besondere endosmotische Wirkung der Wurzeln auf die in dem Wasser enthaltenen Bestandtheile nicht stattgefunden." [1]) Indeß kann dieser Versuch gegenüber den später zu entwickelnden Gesetzen nicht als endgültig und entscheidend angesehen werden; überdieß ist Knop durch spätere Versuche zu entgegengesetzten Resultaten gekommen.

Man hatte sich längst schon überzeugt, daß die Ueberführung der anorganischen Stoffe in die Pflanze und die Verbreitung durch dieselbe eine Diffusion, eine endosmotische Bewegung sei. Von Physiologen angeregt, beschäftigte ich mich vielfach mit der Membrandiffusion, um ihre Gesetze festzustellen und sie in ihren Beziehungen zur Pflanze zu studiren. Nachdem man mit dem physikalischen Wesen der Membrandiffusion einigermaßen bekannt war, lag es nah, die Gesetze für diese und für die Diffusion in der Pflanze als gleich anzusehen; denn die oberflächlichste Betrachtung einer Zelle ließ sie als mikroskopischen endosmotischen Apparat erkennen. Kurz die Nahrungsmittelaufnahme und Verbreitung bei der Pflanze ist eine Membrandiffusion, sie ist bestimmten nicht zu bezweifelnden Naturgesetzen unterworfen. Um eine klare Einsicht von der Ernährung der Pflanze zu bekommen, mußten also die Gesetze der Membrandiffusion experimentell studirt werden; dann aber mußte man sie auch in der Pflanze selbst experimentell nachweisen. Wie dies geschehen ist, wird der Verlauf des Schriftchens zeigen. Man wird sich dann auch überzeugen, wie die heutige Theorie unseres Gegenstandes so ganz den Gesetzen der Membrandiffusion widerspricht. Wie überhaupt die exacte Naturforschung bemüht ist, alle Naturerscheinungen unter möglichst einfachen Verhältnissen zu beobachten, um Anhaltspunkte für die Experimente der complicirteren Verhältnisse derselben Naturerscheinung zu bekommen, oder, wenn bei diesen das Experiment nicht mehr auszuführen ist,

---

[1]) Die landwirthschaftlichen Versuchsstationen. 3. Heft. 1859. S. 194. Dr. Knop: Ein Vegetationsversuch.

wenigstens auf inductivem Wege die Gesetze der Naturerscheinung fest zu stellen; so und nicht anders mußte man auch bei unserm Gegenstande verfahren: also, wie eben schon angedeutet, zunächst die Gesetze der Membrandiffusion feststellen.

Wenn auch schon vor mir Jolly, Ludwig, Vierordt, W. Schmidt und Andere endosmotische Untersuchungen gemacht und manche beachtenswerthe Thatsache zur Theorie geliefert hatten, so reichten diese Versuche doch nicht hin, um eine vollständige Einsicht in die Sache zu bekommen; anderseits mußten diese Versuche für mich von geringer Bedeutung sein, weil sie alle mit thierischen Membranen gemacht wurden, und es immerhin gewagt gewesen wäre, die erzielten Resultate in der Pflanzenphysiologie zu verwerthen.

Ich will nun in der ersten Abtheilung die physikalische Theorie der Membrandiffusion entwickeln und dann in der zweiten Abtheilung die Beziehungen der Membrandiffusion, überhaupt der Diffusion zu dem Leben der Pflanze untersuchen. Man wird gewiß mit mir einverstanden sein, wenn ich die Membrandiffusion erschöpfend behandle: sie ist ein wichtiger Theil der Pflanzenphysiologie und hat bis jetzt noch nirgendwo eine umfassende Behandlung erfahren.

Erste Abtheilung.

Die Diffusion.

Permeabilität und Diffusion.

Es scheint ein allgemeines Naturgesetz zu sein, daß Stoffe, welche einen gewissen Grad von chemischer Anziehung zu einander besitzen, sich gegenseitig zu durchdringen das Bestreben haben, wenn sie mit einander in Berührung kommen, ohne dabei aber zu neuen chemischen Verbindungen zusammenzutreten. Da wo die kleinsten Theilchen (Molecüle) der Stoffe eine Ortsveränderung leicht gestatten, wird diese Durchdringung stattfinden können; daher denn auch bei dem luftförmigen und flüssigen Aggregatszustande die Durchdringung und Mischung leicht zu Stande kommt, bei dem festen hingegen sehr erschwert oder ganz unmöglich ist; auch dann noch kann die Durchdringung mehr oder weniger leicht stattfinden, wenn flüssige und feste Stoffe zusammenkommen, wo dann entweder der flüssige den festen oder umgekehrt der feste den flüssigen Stoff durchdringt. Um uns eine klare Einsicht in diese Vorgänge zu verschaffen, müssen wir unsre Zuflucht zu der atomistischen Hypothese von der Constitution der Materie nehmen, wenigstens läßt sich durch sie die Sache am anschaulichsten darstellen. Ohne uns in theoretische Speculationen einzulassen, ist es doch leicht einzusehen, daß die atomistische Hypothese zu unserm Zwecke genügt, wenn sie alle zur Sache gehörigen Erscheinungen erklären läßt. Wir sehen, daß die Stoffe sich gegenseitig durchdringen und bei vollendeter Durchdringung oder Mischung d. h. wenn die sich durchdringenden Stoffe wieder in Ruhe gekommen sind, eine gleichmäßige Vertheilung der sich mischenden Stoffe eingetreten ist, daß dann in der einen Raumeinheit der Mischung das Raumverhältniß der einzelnen Stoffe grade dasselbe ist, wie in jeder andern Raumeinheit der Mischung (wenigstens bei Stoffen, welche sich leicht zu durchdringen vermögen), es ist ein Gleichgewichtszustand zwischen abstoßenden und anziehenden Kräften eingetreten. Für unsre Untersuchung kann es deshalb gleichgiltig sein, ob, wie der Dynamik annimmt, bloße Kräfte sich in's Gleichgewicht setzen, oder ob man den Kräften Materie zu Grunde legt, wie der Atomistik, und man annimmt, daß Kräfte sich in's Gleichgewicht setzen, wobei

Permeabilität und Diffusion.

Es scheint ein allgemeines Naturgesetz zu sein, daß Stoffe, welche einen gewissen Grad von chemischer Anziehung zu einander besitzen, sich gegenseitig zu durchdringen das Bestreben haben, wenn sie mit einander in Berührung kommen, ohne dabei aber zu neuen chemischen Verbindungen zusammenzutreten. Da wo die kleinsten Theilchen (Molecüle) der Stoffe eine Ortsveränderung leicht gestatten, wird diese Durchdringung stattfinden können; daher denn auch bei dem luftförmigen und flüssigen Aggregatszustande die Durchdringung und Mischung leicht zu Stande kommt, bei dem festen hingegen sehr erschwert oder ganz unmöglich ist; auch dann noch kann die Durchdringung mehr oder weniger leicht stattfinden, wenn flüssige und feste Stoffe zusammenkommen, wo dann entweder der flüssige den festen oder umgekehrt der feste den flüssigen Stoff durchdringt. Um uns eine klare Einsicht in diese Vorgänge zu verschaffen, müssen wir unsre Zuflucht zu der atomistischen Hypothese von der Constitution der Materie nehmen, wenigstens läßt sich durch sie die Sache am anschaulichsten darstellen. Ohne uns in theoretische Speculationen einzulassen, ist es doch leicht einzusehen, daß die atomistische Hypothese zu unserm Zwecke genügt, wenn sie alle zur Sache gehörigen Erscheinungen erklären läßt. Wir sehen, daß die Stoffe sich gegenseitig durchdringen und bei vollendeter Durchdringung oder Mischung d. h. wenn die sich durchdringenden Stoffe wieder in Ruhe gekommen sind, eine gleichmäßige Vertheilung der sich mischenden Stoffe eingetreten ist, daß dann in der einen Raumeinheit der Mischung das Raumverhältniß der einzelnen Stoffe grade dasselbe ist, wie in jeder andern Raumeinheit der Mischung (wenigstens bei Stoffen, welche sich leicht zu durchdringen vermögen); es ist ein Gleichgewichtszustand zwischen abstoßenden und anziehenden Kräften eingetreten. Für unsre Untersuchung kann es deshalb gleichgiltig sein, ob, wie der Dynamist annimmt, bloße Kräfte sich in's Gleichgewicht setzen, oder ob man den Kräften Materie zu Grunde legt, wie der Atomist, und nun annimmt, daß Kräfte sich in's Gleichgewicht setzen, wobei

die chemisch-verschiedenen materiellen Atome sich in gewisser Ordnung neben einander lagern.

Die Körper bestehen aus Atomen oder kleinsten untheilbaren Theilchen; diesen liegt Materie, welcher abstoßende und anziehende Kräfte innewohnen, zu Grunde. Nach den neueren Anschauungen soll das Substrat der anziehenden Kraft die ponderable Materie, das Substrat der abstoßenden Kraft imponderable Materie, der Aether, sein. Das Atom der ponderablen Materie bildet den Kern, um welchen die Aetheratome, eine Umhüllung des Kerns bildend, gelagert sind. Der ponderable Kern mit seiner Aethersphäre und den den beiden innewohnenden Kräften nennt man Molecül. Das Verhalten der abstoßenden und anziehenden Kraft gegen einander bedingt zunächst den Aggregatszustand der Körper. Wenn die Abstoßung der Aetherhüllen in einem Molecul-Aggregate überwiegt, so haben wir es mit dem luftförmigen Aggregatszustande zu thun; bei dem festen Aggregatszustande überwiegt die Anziehung der ponderablen Kerne die Abstoßung der Aetherhüllen; halten beide, Abstoßung und Anziehung, sich das Gleichgewicht, so haben wir den flüssigen Aggregatszustand vor uns. In letzterem müssen die Molecüle leicht verschiebbar sein, d. h. leicht die Stellung, welche sie gegeneinander einnehmen, verändern können; nicht so bei dem festen Aggregatszustande, wo die ponderablen Kerne durch stärkere Anziehung dichter aneinander gerückt sind.

Zwischen Molecülen mit Kernen, deren Materie verschiedenartiger Natur ist, findet eine andre Anziehung statt — die chemische —, welche um so größer ist als die Kerne ungleichartiger sind[1]). Es kann offenbar diese Anziehung so groß sein, daß die Molecüle mit ihren Aetherhüllen in einander eindringen, so daß zwei ponderable Kerne eine gemeinschaftliche Aetherhülle haben und ein zusammengesetztes Molecül bilden, in welchem jedoch immer noch die ponderablen Kerne durch eine Aetherschicht von einander getrennt sind. In ähnlicher Weise können complexe Molecüle mit drei und mehr ponderablen Kernen gebildet werden. Bemerkenswerth ist noch, daß die einzelnen Molecüle, welche zu einem solchen complexen Molecül zusammentreten, ihre individuellen Eigenschaften verlieren, während das neugebildete complexe Molecül mit neuen, ihm eigenthümlichen Eigenschaften auftritt. In den meisten Beziehungen verhalten sich complexe Molecüle wie einfache. Ebenso wie einfache verbinden sich auch complexe Molecüle wieder chemisch mit einander zu complexen Molecülen höherer Ordnung.

---

[1]) Fick in Poggendorfs Annalen der Chemie und Physik. Band 94. Ueber Diffusion.

Die Abstoßung der gemeinschaftlichen Aetherhülle der complexen Molecüle bedingt auf dieselbe Weise den Aggregatszustand, wie die Abstoßung der Aetherhüllen einfacher Molecüle. In der Natur finden wir fast nur Aggregate complexer Molecüle, wie Gesteine, thierische und pflanzliche Stoffe u. s. w. In diesen zusammengesetzten Molecülen erblicken wir die aus chemischer Anziehung hervorgegangenen Verbindungen nach bestimmten Zahlenverhältnissen, Aequivalenten.

Die chemische Anziehung bringt es indeß nicht immer zur Bildung neuer complexer Molecüle; es ziehen sich dann wol die Molecüle an, aber neue Molecüle entstehen nicht. Denken wir uns, es stände ein Aggregat Wassermolecüle mit einem Aggregate Alkoholmolecüle in sogenannter Berührung. Zwischen den Alkoholmolecülen und Wassermolecülen findet eine Anziehung statt, doch ist dieselbe nicht stark genug, daß beide sich zu neuen Molecülen vereinigen könnten. Welche Verhältnisse durch diese Anziehung herbeigeführt werden, soll uns die folgende Betrachtung lehren.

In einem Cylinder befinde sich eine Schicht Wasser, auf dieselbe werde eine Schicht Alkohol mit der Vorsicht gebracht, daß beide sich nicht untereinandermischen, sondern in Flächen berühren. Die obere Fläche der Wasserschicht steht nun mit der untern Fläche der Alkoholschicht in Berührung, also Wassermolecüle der einen Fläche mit Alkoholmolecülen der andern Fläche; beide üben eine gewisse Anziehung auf einander aus, wodurch der Gleichgewichtszustand in der Wasserschicht einerseits und in der Alkoholschicht anderseits gestört wird. Die Alkoholmolecüle werden von den Wassermolecülen angezogen und bewegen sich in die Wasserschicht hinein; die Wassermolecüle werden von den Alkoholmolecülen angezogen und bewegen sich in die Alkoholschicht hinein. In der Wasserschicht verbreiten sich die Alkoholmolecüle immer weiter; ebenso auch die Wassermolecüle in der Alkoholschicht. Wir sehen hier also zwei in entgegengesetzter Richtung gehende Molecularströmungen, die der Wassermolecüle aus der Wasserschicht in die Alkoholschicht und die Strömung der Alkoholmolecüle aus der Alkoholschicht in die Wasserschicht. Diese molecularen Bewegungen hören erst dann auf, wenn aus beiden Schichten eine gleichmäßige Mischung von Alkoholmolecülen und Wassermolecülen hervorgegangen ist. Beide halten sich bei wiedereingetretener Ruhe das Gleichgewicht und sind so vertheilt, daß in der einen Raumeinheit der Mischung die Alkoholmolecüle sich zu den Wassermolecülen verhalten, wie in jeder andern Raumeinheit der Mischung. Sehr schön lassen diese Vorgänge sich verfolgen, wenn man zuunterst eine Schicht Säure, darauf eine Schicht Wasser bringt, welches mit wenig Lakmustinctur blau gefärbt ist. Zuerst sieht man nur einen dünnen rothen

Streifen, da nämlich, wo sich die Flächen der beiden Schichten berühren. Dieser Streifen nimmt immer mehr an Dicke zu, je weiter nämlich die Säuremolecüle sich in die Wasserschicht hineinbewegen. Wären in der Alkoholschicht so viele Alkoholmolecüle als in der Wasserschicht Wassermolecüle, so würde in der Mischung, nachdem die molecularen Bewegungen geendet haben, ein Alkoholmolecül ein Wassermolecül angezogen halten und sich d. h. ihre anziehenden und abstoßenden Kräfte im Gleichgewicht befinden. Verhielte die Alkoholschicht sich so zur Wasserschicht, daß eine Mischung von 10 Volumprocent Alkohol daraus hervorgegangen sei, so müßte 1 Alkoholmolecül von 9 Wassermolecülen umgeben sein und jenes nach allen Seiten hin gleichmäßig von diesen angezogen werden: fände eine solche Anziehung nicht statt, so müßten in einer Alkohol-Wasser-Mischung die Alhoholmolecüle wegen ihres geringeren specifischen Gewichtes im Wasser aufsteigen. Die sich so mischenden Molecüle vereinigen sich nicht zu neuen zusammengesetzten Molecülen; jedes behält seine individuellen Eigenschaften bei.

Wenn von sich durchdringenden Stoffen der eine fest, der andre flüssig ist, so haben wir zwei bemerkenswerthe Fälle zu unterscheiden. In dem einen Falle ist die chemische Anziehung des flüssigen Stoffes zum festen so groß, daß die Cohäsion der Molecüle des letzteren überwunden wird, diese den flüssigen Stoff durchdringen und damit auch in den flüssigen Aggregatszustand übergehen. Wir nennen diesen Vorgang eine Auflösung und haben in den Salzlösungen u. drgl. Beispiele davon. Auch hier tritt Gleichgewicht ein, sobald eine gleichmäßige Vertheilung der Molecüle des festen Stoffes in dem flüssigen herbeigeführt ist. Als eigenthümlich hierbei haben wir den Umstand anzusehen, daß eine gewisse Anzahl der flüssigen Molecüle nur eine bestimmte Anzahl Molecüle des festen Körpers angezogen halten kann, mit andern Worten: eine Flüssigkeit vermag nur eine gewisse Menge eines festen Stoffes aufzulösen.

Molecularbewegungen der Art, wie ich sie in den beiden vorhergehenden Fällen beschrieben habe, hat man Diffusion genannt. Bei der Diffusion ist, wie wir gesehen haben, die bewegende Ursache eine chemische Anziehung. Stoffe, welche sich nicht chemisch anziehen, mischen sich auch nicht, wie uns dies bei fetten Oelen und Wasser bekannt ist.

Wir ließen oben die sich mischenden Flüssigkeiten schichtenweise zusammentreten und sahen, daß die Bewegung von den sich berührenden Flächen ausging, sich allmälig über die ganzen Schichten verbreitete, so daß Gleichgewicht d. h. gleichmäßige Vertheilung der verschiedenartigen Molecüle herbeigeführt wurde; viel schneller wird dieses Ziel erreicht, wenn man die beiden Flüssigkeiten, oder den festen und flüssigen Stoff

untereinanderrührt oder umschüttelt, wodurch die Molecüle sich vielseitiger berühren.

Der andere der obenerwähnten beiden Fälle ist der, wo die Molecüle des festen Körpers durchaus unbeweglich sind, also nicht durch die Diffusionsanziehung aus ihrem Zusammenhange gerissen werden können. Wenn hier eine Durchdringung stattfindet, so müssen die Molecüle des festen Körpers hinsichtlich der molecularen Bewegung passiv bleiben; die Molecüle des flüssigen hingegen können der Anziehung der Molecüle des festen Körpers folgen und diesen durchdringen. Wie aber bewegen sich die flüssigen Molecüle in den festen Körper hinein? Wir haben vorhin gesehen, daß der feste Körper ein Aggregat einfacher oder, wie es häufiger in der Natur der Fall ist, complexer Molecüle darstellt, deren ponderablen Kerne durch Aethersphären auseinandergehalten werden. Es bestehen demnach zwischen den ponderablen Kernen einfacher oder den Kerncomplexen zusammengesetzter Molecüle mit Aether erfüllte Zwischenräume, welche man Molecularinterstitien nennen kann. Sie sind es, in welche sich die Molecüle flüssiger Stoffe hineinbewegen. Die ponderablen Kerne des festen Körpers und der ihn durchdringenden Flüssigkeit, wenn sie in Berührung kommen, ziehen sich an, und zwar grade so, wie sich auch die Molecüle zweier chemisch-verschiedener Flüssigkeiten anziehen. Die Flüssigkeit berührt, wenigstens bei dem ersten Zusammenkommen, den festen Körper nur an dessen Oberfläche, und durch die stetig wirkende Anziehung bewegen sich die Molecüle der ersteren in die Molecularinterstitien des letzteren hinein. Die Aethersphären in dem festen Körper setzen dem Eindringen fremder Molecüle kein Hinderniß in den Weg, wenn ihre abstoßende Kraft überwunden wird. Man kann sich vorstellen, daß die Aethersphären zusammendrückbar sind, wie dies ja auch aus ihrem Verhalten bei Körpern, die aus dem luftförmigen Aggregatszustande in den festen überzugehen vermögen, hervorgeht. Das Eindringen wird demnach um so leichter sein, je weniger dicht die Molecüle des festen Körpers an einander gelagert sind; daher denn auch die weniger dichten thierischen und pflanzlichen Molecülaggregate leichter durchdrungen werden als die dichteren mineralischen Stoffe wie Gesteine, Metalle u. s. w. Diese Molecularinterstitien sind es, wodurch die atomistischen Physiker bewogen wurden, alle Körper als porös anzusehen; die sogenannte Porosität ist bei ihnen eine allgemeine Eigenschaft der Körper. Daß wir es hier nicht mit einem wirklich porösen Zustande d. h. mit capillaren Zwischenräumen zu thun haben, versteht sich von selbst. Besser bezeichnet man deshalb den eben beschriebenen Zustand mit Permeabilität.

Die Diffusion flüssiger Stoffe und solcher, welche bei der Diffusion flüssig werden, wollen wir Hydrodiffusion, die Diffusion gasförmiger Stoffe, welche im Wesentlichen nicht verschieden ist von jener der flüssigen Stoffe, Aerodiffusion nennen; die Durchdringung eines festen Stoffes von einer Flüssigkeit nennt man Imbibition oder Infiltration und ist eine Grundbedingung der Sterrhodiffusion und Membrandiffusion. Wir wollen nun diese Vorgänge, wie wir sie in der Natur finden, etwas eingehender besprechen.

Hydrodiffusion.

Vorhin betrachteten wir einen Diffusionsfall, wo zwei einfache Flüssigkeiten, wie Alkohol und Wasser, sich miteinander mischten; in der Natur finden wir diesen Fall indeß selten; hier sind es meistens wässrige Lösungen von Salzen, Säuren, löslichen Kohlenhydraten, löslichen Proteinstoffen u. s. w., bei denen wir die Erscheinungen der Diffusion beobachten, und welche bei den physiologischen Processen im Thierkörper und der Pflanze eine Hauptrolle spielen. Gießt man Wasser auf irgend einen löslichen Körper z. B. Salz, so verbreitet sich dieser so lange im Wasser, bis dieses damit gesättigt ist und eine gleichmäßige Vertheilung der Molecüle des festen Körpers im Wasser stattgefunden hat. Bringt man auf eine Schicht einer solchen Lösung eine Schicht reines Wasser, so wird an der Berührungsfläche beider Schichten der Gleichgewichtszustand gestört; die Wassermolecüle der Wasserschicht ziehen die Salzmolecüle an, diese bewegen sich in die Wasserschicht hinein; umgekehrt gehen auch Wassermolecüle aus der Wasserschicht in die Salzlösungsschicht — Bewegungen, die so lange fortdauern, bis zwischen Wasser und Salz wieder das Gleichgewicht hergestellt ist, d. h. bis beide Schichten eine gleichprocentige Lösung bilden. Wären in der einen Schicht zwei oder mehrere Salze aufgelöst, so ist die Bewegung jedes einzelnen Salzes nicht anders, als wie wir sie eben kennen gelernt haben, und, wenn Gleichgewicht wieder eingetreten, bilden beide Schichten ebenfalls eine gleichmäßige Lösung, worin das Verhältniß des Wassers zu den einzelnen Salzen in jeder Raumeinheit dasselbe ist. Ganz dasselbe wird auch eintreten, wenn beide Schichten Salzlösungen sind, und jede ein andres Salz enthält. Während das Salz der Lösung A sich mit dem Wasser der Lösung B in's Gleichgewicht setzt, geschieht dasselbe zwischen dem Salze der Lösung B und dem Wasser der Lösung A. Auch Lösungen mit verschiedenen Lösungsmitteln z. B.

einerseits eine Lösung von salpetersaurem Kali in Alkohol, anderseits eine Lösung von schwefelsaurem Kali in Wasser, werden sich schließlich so gemischt haben, daß die Lösungsmittel und die gelösten Stoffe eine gleichmäßige Mischung bilden, vorausgesetzt, daß alle mit einander mischbar sind, d. h. alle sich gegenseitig chemisch anziehen. Aus dem Gesagten folgt der Schluß, daß Lösungen mischbarer Stoffe ihre Bestandtheile bis zur gleichen Vertheilung gegenseitig austauschen.

Wenn eine chemische Anziehung die bewegende Ursache der Diffusion ist, so muß natürlich die Stärke der Anziehung von Einfluß auf die Mischung sein. Je stärker die Anziehung ist, um so schneller werden sich die Molecüle zu einander bewegen und um so schneller wird die Mischung vollendet sein. So mischen sich Säuren, welche eine größere chemische Anziehung zum Wasser haben als die meisten Salze, schneller mit Wasser, als Salze Dies thun. Auch die Säuren und Salze unter sich zeigen große Verschiedenheiten, so z. B. mischt sich Schwefelsäure schneller als Oxalsäure, salpetersaures Ammoniak schneller als oxalsaures. Die Diffusion der schleimigen und viscosen Stoffe, wie Eiweiß und Gummi geht sehr langsam vor sich.

Die Menge der sich aus Lösungen zum Wasser bewegenden Substanz, wenn beide, Lösung und Wasser, schichtenweise übereinander gebracht sind, hängt ab von der Concentration der Lösung und ist der Concentration proportional; so wird bei gleicher Dauer der Mischung und gleicher Temperatur aus einer Salzlösung von 20 Procent doppelt soviel zum Wasser gehen als aus einer Lösung von nur 10 Procent, vorausgesetzt, daß in dem einen Falle die Berührungsfläche zwischen der Salzlösungs- und Wasserschicht so groß ist wie in dem andern. Wenigstens wird die übertretende Salzmenge nahezu proportional der Concentration sein; wie ich bei der Membrandiffusion zeigen werde, ist eine völlige Proportionalität nicht möglich. Es bedarf wol kaum der Erwähnung, daß bei solchen Diffusionsversuchen die übertretende Salzmenge proportional sein wird der Ausdehnung der sich berührenden Flächen.

Auch die Temperatur ist von großem Einflusse auf die Diffusionsbewegungen. Es läßt sich als allgemein annehmen, daß mit der Temperatur die Schnelligkeit der Mischung steigt und fällt.

Den einfachen aber durchaus allen Anforderungen entsprechenden Apparat, welchen ich zu meinen Diffusionsversuchen benutzte, werde ich an einem andern Orte beschreiben; hier würde mich Das zu weit führen.

Imbibition.

Feste Körper, die von Flüssigkeiten durchdrungen werden, nannte man porös, mochte nun die Porosität durch capillare Zwischenräume hervorgerufen werden, wie bei Kohle und gebranntem Thon, oder in molecularen Zwischenräumen bestehen, wie bei Metallen, dichten Gesteinen u. s. w. Man sah, daß Stoffe in den festen Körper eindrangen, es mußten deshalb Oeffnungen in ihm vorhanden sein, welche den eindringenden Stoff aufnahmen. Wenn der Kohlenstoff das Eisen bei der Cämentirung durchdringt; wenn dichte unverwitterte Basalte Wasser in sich aufgenommen hatten, welches mit der chemischen Constitution des Gesteins nichts zu thun hat und lediglich nur von außen in das Innere eingedrungen sein kann (Bischoff); wenn structurlose thierische und pflanzliche Häute Flüssigkeiten in sich aufnehmen und durchgehen lassen: so muß man freilich an Oeffnungen denken, in welche sich die Molecüle der durchdringenden Substanz hineinbewegen; allein hier von Poren, d. h. von capillaren Zwischenräumen, mag man sie sich auch noch so klein denken, zu sprechen, dürfte etwas gewagt sein; die Annahme von Molecularinterstitien macht keine Schwierigkeit und genügt, um alle Erscheinungen zu erklären. Ich nannte diesen Zustand Permeabilität zum Unterschiede von der eigentlichen Porosität.

Fast die meisten Körper sind permeabel. Ich habe oben schon auf Eisen hingedeutet; Schacht sah durch Goldschlägerhaut Wasser, Alkohol und Zuckerlösung gehen [1]); ebenso Dutrochet Wasser und Salzlösungen durch Platten von Marmor und Sandstein — durch Platten von 1 Millimeter Dicke gingen merkliche Mengen Flüssigkeit. Metalle, Gesteine und dergleichen dichte Körper besitzen freilich nur eine geringe Permeabilität, wogegen thierische und pflanzliche Häute, die Zellenmembrane, Kautschuckblättchen, Häute von geronnenem Eiweiß, in dieser Eigenschaft ausgezeichnet sind; erstere können deshalb auch nur äußerst geringe Mengen der durchdringenden Substanz in ihre Molecularinterstitien aufnehmen, letztere hingegen mehr.

Vorhin habe ich gezeigt, daß eine chemische Anziehung zwischen den Molecülen des festen und den Molecülen des ihn durchdringenden Körpers die Durchdringung verursacht; mithin muß auch die Schnelligkeit der Durchdringung mit der Größe der Anziehung in Verhältniß stehen,

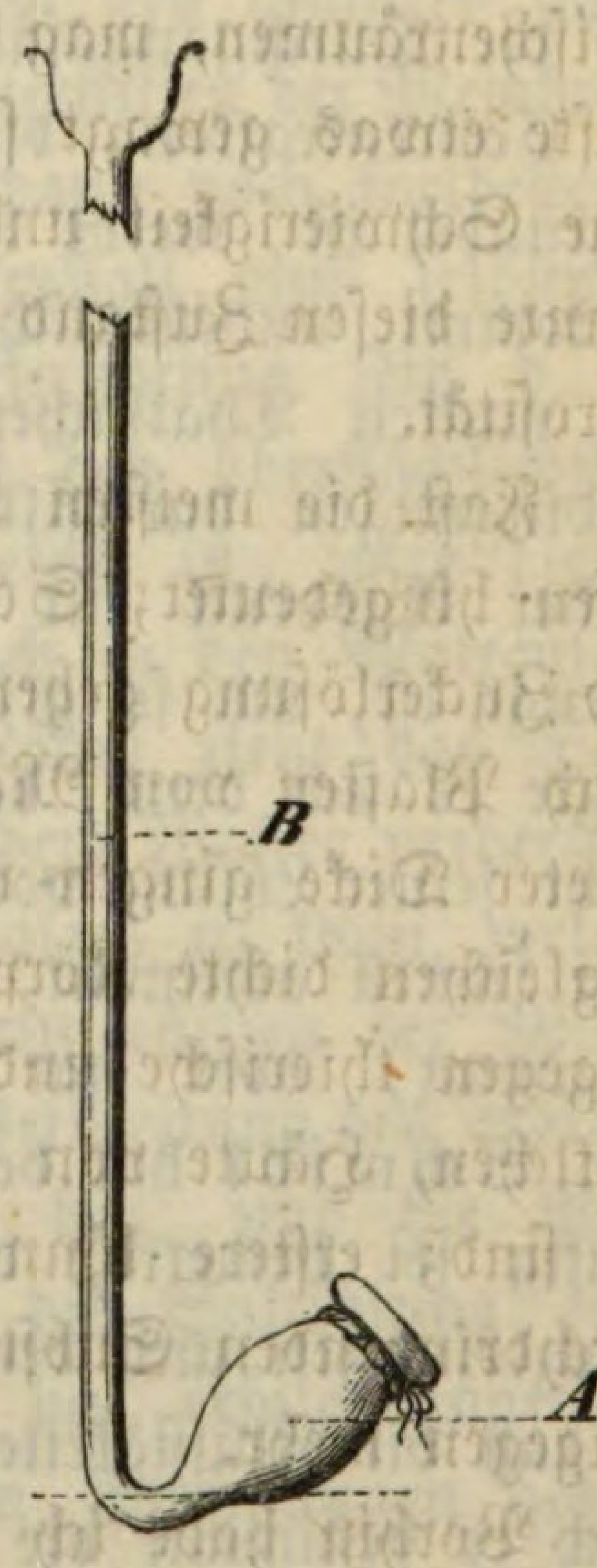
---

[1]) Schacht, Anatomie und Physiologie der Gewächse. 1. Theil S. 362.

so daß stärker angezogene Stoffe sich schneller durch den permeablen Körper verbreiten als weniger stark angezogene. Stoffe, welche von dem permeablen Körper nicht angezogen werden, können natürlich sich auch nicht in ihn hineinbewegen. Auffallend tritt Dies hervor bei Kautschuk; dieser nimmt Alkohol in sich auf, nicht aber Wasser und wässrige Lösungen.

Die einmal in einen permeablen Körper aufgenommenen und durch Anziehung festgehaltenen Substanzen können durch gewisse Einwirkungen auch wieder aus demselben entfernt werden. Zu den vorzüglichsten dieser Einwirkungen gehören Druck, von Außen wirkende chemische Anziehung und, wenn die Stoffe Gasgestalt anzunehmen vermögen, Verdunstung und Verdampfung.

Die durch Druck hervorgerufenen Erscheinungen lassen sich in denjenigen Beziehungen, welche uns interessiren, mit dem untenstehenden Apparat sehr schön studiren. Druck, welcher auf die mit Flüssigkeit imbibirte Substanz als Compression wirkt und die imbibirte Flüssigkeit dadurch auspreßt, ist für unsern Gegenstand nicht von Bedeutung. Der Apparat besteht aus zwei Schenkeln; A, welcher mit einer permeablen Membran verschlossen ist, dient dazu, die in ihrem Verhalten zur Membran zu untersuchende Flüssigkeit aufzunehmen; in den Schenkel B wird Quecksilber gebracht, welches als Druck auf den Inhalt und die Membran von A wirkt. Die Quecksilbersäule in B kann durch ein Tropfglas auf constanter Höhe erhalten werden. Wird der Schenkel A mit einem Kautschuckblättchen verschlossen, mit Alkohol gefüllt und der Inhalt unter den Druck einer niedrigen Quecksilbersäule gesetzt, so sieht man den Alkohol nicht durch die Membran durchschwitzen; derselbe tritt indeß in Form von Tröpfchen aus, wenn die Quecksilbersäule höher wird. Die Alkoholmolecüle in den Molecularinterstitien an der Oberfläche der Membran treten durch den von unten wirkenden Druck zunächst aus; an ihre Stelle treten neue aus dem Innern der Membran, welche letztere dann wieder durch Aufnahme neuer Mengen Alkohol aus dem Schenkel A ersetzt werden. Die austretenden Molecüle müssen um so schneller wieder ersetzt werden, als die Anziehung der Membranmolecüle auf die durchströmenden Molecüle größer ist. Die Schnelligkeit der



Durchdringung, die Durchgangsfähigkeit, ist deshalb für verschiedene Stoffe verschieden. Bei der Kautschuckmembran sehen wir Alkohol durchgehen; Wasser, welches nicht oder nur äußerst schwach von Kautschuck angezogen wird, bewegt sich nicht durch die Membran (wenigstens nicht bei der Höhe der Quecksilbersäule, welche mein Apparat anbringen ließ). Ausgezeichnet zu solchen Versuchen sind Häute aus Nitrocellulose, welche man aus Collodium erhält, wenn sein Lösungsmittel, Alkohol und Aether, verdunstet; auch seröse thierische Häute 2c. Mit solchen Häuten aus Collodium habe ich viele Stoffe auf ihre Durchgangsfähigkeit untersucht. Unter gleichem Druck, bei derselben Membran, bei gleicher Temperatur, gleicher Concentration der Lösungen und gleicher Dauer des Versuchs ging mehr Wasser durch als Säuren und Salzlösungen, mehr von Salpeter- und Salzsäure, als von Phosphor- und Oxalsäure; von einer Lösung von salpetersaurem Ammoniak ging fast ebensoviel durch als von Wasser, von schwefelsaurem und phosphorsaurem Ammoniak aber viel weniger. Zu diesen Versuchen wurden Salzlösungen oder verdünnte Säuren von 10 Procent Salz oder Säure verwendet.

Von einem eigenthümlichen Einflusse ist die Concentration der Lösung auf die Durchgangsfähigkeit. Man sollte meinen, diese sei proportional der Concentration; dies ist jedoch durchaus nicht der Fall. Worin das begründet ist, werde ich später bei der Membrandiffusion, wo Aehnliches vorkommt, ausführlich zeigen; hier will ich mich darauf beschränken, nur die nackten Thatsachen mitzutheilen. Die unter den oben angegebenen Bedingungen durchfiltrirenden Flüssigkeitsmengen können uns als numerischer Ausdruck für die Durchgangsfähigkeit dienen; je größer diese Menge ist, um so größer ist auch die Durchgangsfähigkeit u. s. w. So zeigte es sich denn, daß die Durchgangsfähigkeit eines Salzes oder vielmehr seiner Lösung von dem geringsten Procentgehalte bis zu 2—5 Procent sehr schnell abnimmt, von hier aber bis zu höhern Procenten nur allmälig abnimmt, oder gar bei manchen Salzen wieder allmälig zunimmt. W. Schmidt hat bei thierischen Membranen Gleiches beobachtet. Beiläufig sei bemerkt, daß Poiseuille sogar Aehnliches fand, als er Salzlösungen und dergleichen durch Haarröhrchen vermittelst Druck trieb, so daß die Flüssigkeiten an dem einen Ende des Röhrchens ausflossen; auch er bestimmte die Durchgangsfähigkeit nach der Ausflußmenge gleicher Versuchszeiten. [1])

Mit der Wärme steigt hier auch in der Regel die Durchgangsfähigkeit.

[1]) Poggendorf's Annalen der Chem. und Phys. Band 99. W. Schmidt, Versuche über die Filtrationsgeschwindigkeit verschied. Flüssigkeiten durch thier. Membrane. In derselben Abhandlung Poiseuilles Versuche mit Haarröhrchen.

Sterrhodiffusion.

Wenn man eine Glasröhre mit der oben beschriebenen Collodiummembran zubindet an einem Ende, auf die innere Fläche der Membran, also in die Röhre, einen Krystall irgend eines Salzes legt und die äußere (untere) Fläche der Membran mit Wasser in Berührung bringt, so wird zunächst das Wasser in die Molecularinterstitien der Membran eindringen, dann aber von dem Salze angezogen werden und aus der Membran in die Röhre eintreten. Es ist bald so viel Wasser in die Röhre eingetreten, daß sich der Krystall aufgelöst hat, wenigstens bei leichtlöslichem Salze. Wenn sich in der Röhre nichts befände, so würde auch kein Wasser eintreten, das Wasser würde die Membran nicht verlassen, vorausgesetzt, daß der Apparat eine solche Einrichtung hat, welche einen hydrostatischen Druck des Wassers auf die Membran nicht zuläßt; in solchem Falle würde das Wasser durch Druck die Molecularinterstitien verlassen und in die Röhre eintreten. Es findet hier also eine Strömung des Wassers statt, welche aus dem äußeren Wasser durch die Molecularinterstitien der Membran zum Salze in der Röhre geht, und welche auch dann noch fortbesteht, wenn das Salz bereits aufgelöst ist. Der Salzkrystall muß selbstverständlich mit der Membranoberfläche in inniger Berührung sein d. h. die oberflächlichsten Salzmolecüle des Krystalls mit den oberflächlichsten Interstitien der Membran. Sobald wie Salz aufgelöst ist, wird dieses auch von der Membran angezogen und verbreitet sich in den Molecularinterstitien derselben; das Wasser außerhalb der Röhre zieht das Salz in der Membran an, welches austritt und sich in dem Wasser verbreitet. Hier haben wir es also mit einer Strömung des Salzes zu thun, welche aus der Salzlösung der Röhre durch die Molecularinterstitien der Membran zum Wasser außerhalb der Röhre geht. Die Verbreitung des Salzes im Wasser, wenn ersteres die Membran verlassen hat, und die Verbreitung des von außen durch die Membran in die Salzlösung eintretenden Wassers, wenn es die Membran verlassen hat, erfolgt ungestört nach den Gesetzen der Hydrodiffusion. Die beiden Strömungen gehen also in entgegengesetzter Richtung an einander vorbei und dauern so lange fort, bis aus den Flüssigkeiten innerhalb und außerhalb der Röhre eine gleichprocentige Salzlösung entstanden, bis sich Salz und Wasser in's Gleichgewicht gesetzt haben. Eben so, wie hier Salz, mischen sich auch alle anderen mischbaren Flüssigkeiten.

Verschließt man die Röhre mit Goldschlägerhaut, bringt in die Röhre Alkohol oder Zuckerlösung und setzt die äußere Fläche der Scheidewand mit Wasser in Berührung, so treten ganz dieselben Erscheinungen ein, wie ich sie eben beschrieben habe. Dutrochet sah, daß Flüssigkeiten sich noch durch Platten von Marmor und Sandstein, wenn sie nicht über ein Millimeter dick waren, mischten. Durch Kautschukplatten mischen sich Alkohol und Wasser, nicht aber Wasser und wässrige Lösungen. Wenn bei dem letztgenannten Stoffe doch Wasser durchgeht, obgleich es von den Kautschukmolecülen nicht angezogen wird, und sich mit Alkohol mischt, so beruht Das auf der Anziehung, welche die in die Molecularinterstitien der Membran aufgenommene Alkoholmolecüle auf das Wasser ausübt, es ist, mit andern Worten gesagt, eine Diffusion des Wassers in den Alkohol der Molecularinterstitien.

Wo überhaupt mischbare Flüssigkeiten durch eine permeable Scheidewand getrennt sind, mischen sie sich durch die Scheidewand hindurch so lange, bis sie ihre Bestandtheile gegenseitig ausgetauscht und in Gleichgewicht gesetzt haben; das Endresultat ist demnach ganz dasselbe, wie bei der einfachen, ungestörten Diffusion.

Betrachtet man die beschriebenen Vorgänge als eine Diffusion durch feste und permeable Körper, so kann die Bezeichnung „Sterrhodiffusion" (von *στερεος* contrahirt *στεῤῥος*) gerechtfertigt sein. Die Diffusion durch mineralische Körper kommt in der Natur nur sehr vereinzelt vor, dagegen ist die Diffusion durch thierische und pflanzliche Membrane, welche ich Membrandiffusion genannt habe, eine der häufigsten Erscheinungen. Der Physiologe weiß jetzt, daß die Diffusion durch Membrane einer der verbreitetsten Vorgänge im Thierkörper und der Pflanze ist und besonders da ihren Sitz hat, wo vom Anatomen Zellen gefunden wurden. Die Sterrhodiffusion kann uns, wenn wir sie in ihren Beziehungen zu physiologischen Processen studiren wollen, nur dann interessiren, wenn sie Membrandiffusion ist; deshalb werden wir uns fortan hauptsächlich mit dieser beschäftigen, vorzüglich mit der eigenthümlichen Gestaltung der Diffusion, welche durch den Einfluß der Scheidewand bedingt ist.

Die Diffusion der Gase, die Aerodiffusion verhält sich ähnlich wie die Hydrodiffusion. Wenn eine Flüssigkeit mit Gasen in Berührung kommt, so werden diese von jener aufgenommen, aufgelöst; sobald die Gase gelöst sind, diffundiren sie auf dieselbe Weise wie andere gelöste Stoffe — Hydroaerodiffusion. Auch dann noch, wenn die Flüssigkeit von dem Gase durch eine permeable Scheidewand getrennt ist, wird das Gas durch die in den Molecularinterstitien aufgenommene Flüssigkeit

gelöst und diffundirt von hier aus auf die Flüssigkeit — Aeromembrandiffusion. Ich werde diese Vorgänge, insoweit sie für unsern Gegenstand von Bedeutung sind, ausführlicher besprechen.

Die Membrandiffusion
oder
Endosmose und Exosmose.

Wenn auch schon Nollet in der Mitte des vorigen Jahrhunderts Erscheinungen der Membrandiffusion beobachtete, so war das, was er uns hinterließ, doch kaum mehr als die nackte Thatsache, daß von zwei verschiedenartigen Flüssigkeiten, welche durch eine thierische Haut von einander getrennt sind, die eine zur andern geht. Dutrochet[1]) erkannte wol zuerst die große Bedeutung der Membrandiffusion und bemühte sich, ihre Gesetze zu erforschen. Dutrochet nannte diese Vorgänge „Endosmose und Exosmose" — Endosmose den Strom, welcher von außen nach dem Innern einer ganz oder theilweise geschlossenen Membran geht, Exosmose denjenigen, welcher von innen nach außen geht. (Offenbar von *ωϑω*, gewöhnlicher *ωϑεω*, macht durch *ωσμαι ὁ ωσμος*, bewegen.) Diese Bezeichnungen sind, wie uns später klar werden wird, sehr relativ. Er nahm eine eigenthümliche, die sogenannte endosmotische Kraft als bewegende Ursache an, und es kann uns deshalb nicht sehr auffallend sein, wenn er unklare Begriffe von der Sache hatte. Nächst Dutrochet beschäftigten sich Magnus und Fischer[2]) damit. Vierordt[3]) schenkte den endosmotischen Vorgängen eine große Aufmerksamkeit und sind seine Versuche sehr interessant; darauf nahm Jolly[4]) die Sache auf, und Jolly's Irrthümer riefen die Versuche von Ludwig[5]) hervor. Liebig[6]) sprach sich ausführlich über die Theorie der Endosmose aus. In neuester Zeit haben diesen Gegenstand bearbeitet Cloetta[7]), Fick[8])

---

[1]) Poggendorf's Annalen der Chem. und Physik. Band 11.

[2]) Ebendaselbst Band 10.

[3]) Griesinger's Archiv für physiologische Heilkunde. Jahrg. 6. Heft 7. Vierordt, „Physik des organischen Stoffwechsels" (1847).

[4]) Henle und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medicin. Band 7. (1848).

[5]) Ebendaselbst Band 8. (1849).

[6]) Liebig, Untersuchung über einige Ursachen der Säftebewegung bei Pflanzen und Thieren (1848).

[7]) Cloetta, Diffusionsversuche mit zwei Salzen durch thierische Häute (1850). Ich konnte nicht in den Besitz desselben gelangen; ist im Buchhandel vergriffen.

[8]) Auf der Naturforscherversammlung in Bonn 1857.

und Schmidt[1]). Dies wären wol die wichtigsten Namen, welche man bei der Geschichte der Endosmose zu nennen hätte. Die Arbeiten der genannten Forscher haben manchen Blick in das Wesen der Membrandiffusion gestattet, sie waren indeß nicht hinreichend, um Ausdrücke für die Gesetze dieser Erscheinungen mit Sicherheit aufstellen zu können.

Die meisten der genannten Forscher waren der Ansicht, daß die permeablen Körper Poren besäßen, welche den Eintritt und Durchgang fremder Molecüle gestatteten; und die physikalische Theorie der Membrandiffusion mußte deshalb auch in den Poren ihren Anhaltspunkt suchen. Die Porentheorie lag nach, als man beobachtete, daß wirklich poröse Körper bei der Diffusion von Flüssigkeiten dieselben oder doch ähnliche Erscheinungen zu Stande kommen ließen wie die permeablen Membrane. Liebig (a. a. O.) fand, daß Thonzellen (aus schwachverglühtem Porzellan), wie sie zu galvanischen Versuchen gebraucht werden, wenn sie in Flüssigkeiten liegen, davon bedeutende Mengen in sich aufnehmen. Trennt eine solche Thonzelle Wasser und Salzlösung von einander, so mischen beide sich durch die Wände der Zelle mit einander. Man nimmt hier die Flächenanziehung der Porenwandung als bewegende Ursache an, die hier ähnlich wirken soll wie bei Haarröhrchen, wo Flüssigkeiten durch Capillarattraction gehoben werden. Diese Flächenanziehung und jene Molecularanziehung, welche wir bei permeablen Körpern angenommen haben, scheinen wesentlich nicht verschieden zu sein: diese bezeichneten wir als eine chemische Anziehung und jener können wir chemische Wirkungen nicht absprechen, wie uns die zersetzenden und chemische Verbindungen einleitenden Kräfte der porösen Kohle, des Platinschwamms u. dergl. lehren. Es kann uns demnach nicht mehr sehr auffallend scheinen, daß die Diffusion bei wirklich porösen Körpern und bei permeablen unter ähnlichen Erscheinungen auftritt. Wie sich die Diffusion bei beiden genau verhält, ist bis jetzt nicht festgestellt worden. Fick (a. a. O.) will einen Unterschied in der Gestaltung der Erscheinungen bei der Diffusion durch poröse Thonzellen und permeable Collodiummembrane gefunden haben. Es läßt sich nun zwar ein Unterschied, als möglich, nicht gradezu ableugnen, der dadurch bedingt sein kann, daß in dem einen Falle die durchdringenden Molecüle sich in molecularen Zwischenräumen bewegen, wo Molecül gegen Molecül sich anzieht, und Molecüle sich aneinander vorbeibewegen, während sie in dem andern Falle sich in capillaren Zwischenräumen bewegen, wo die Porenwandung ein Aggregat von Molecülen, ähnlich wie bei der Capillarattraction, anzieht, und durch die Poren hindurch

---

[1]) Poggendorf's Annalen. B 102. S. 122. Ueber Endosmose des Glaubersalzes.

sich ein Aggregat von Molecülen bewegt; indeß sind die Versuche von Fick nicht entscheidend, weil das, was er als charakterisirend für die Porendiffusion angiebt, sich in auffallender Weise auch bei der Collodiummembran zeigt, wie aus meinen zahlreichen Versuchen hervorgeht. Da die bewegende Ursache eine chemische Anziehung ist, so könnte auch leicht ein Unterschied durch die Materie der Scheidewand bedingt sein, indem chemisch-verschiedene Stoffe auch eine verschiedene Anziehung auszuüben vermögen; so könnte der Thon ja leicht ein gewisses Salz stärker als Wasser anziehen, während es von der Collodiummembran schwächer als Wasser angezogen wird. In physikalischer Hinsicht wäre es von großem Interesse, solche Unterschiede festzustellen.

Die permeablen Membrane.

Im Thierkörper und in der Pflanze findet die Diffusion durch eigenthümliche structurlose Häute statt, welche hier Zellen bilden. Durch die permeable Zellenmembran hindurch mischt sich der Inhalt der Zelle mit ihrer flüssigen Umgebung oder mit dem Inhalte andrer Zellen. Von der thierischen Zellenmembran haben wir eigentlich nicht zu sprechen, weil wir uns nur für die Pflanze interessiren; nur insofern ist ihre Erwähnung nöthig, als die meisten Diffusionsversuche meiner Vorgänger mit thierischen Häuten angestellt wurden. Wenn schon im Allgemeinen die thierischen Häute, besonders wie man sie bis jetzt zu Versuchen meistens gebraucht hat, sehr unzweckmäßig zu Diffusionsversuchen sind, so können sie noch viel weniger im Interesse der Pflanzenphysiologie verwendet werden; denn zwischen der Thierzellenmembran und der Pflanzenzellenmembran ist ein großer chemischer Unterschied, wodurch natürlich eine verschiedene Gestaltung der Membrandiffusion bedingt sein muß. Zu den meisten früheren Versuchen wurden Stücke von thierischen Harnblasen und Därmen in Anwendung gebracht; wie ungeeignet dieses Material indeß ist, muß jedem einleuchten, welcher nur einigermaßen die Structur dieser Theile kennt. Sie sind Zusammenhäufungen der verschiedenartigsten anatomischen Elemente. Darm und Harnblase bestehen aus zwei Schichten, der Muskelhaut und Schleimhaut. Letztere ist zusammengesetzt aus Epithelialzellen, deren jede eine structurlose permeable Membran, die eigentliche Zellenmembran besitzt, welche einen mehr oder weniger auf die Diffusion wirkenden Inhalt umschließt. Die Muskelfaserschicht dieser Häute ist ein Gewebe von langgestreckten Muskelzellen (Primitivfasern), die wahrscheinlich an und für sich wenig permeabel sind, aber zwischen sich capillare Zwischenräume haben, welche Flüssigkeiten aufnehmen und durchgehen lassen. Kommt nun eine Flüssigkeit mit der Schleimhautschicht in

Berührung, so muß zunächst eine Diffusion eintreten zwischen dieser Flüssigkeit und dem Inhalte der Epithelialzellen. Wäre z. B. die Flüssigkeit Wasser, so würde dieses in die Zellen eintreten, vom Zelleninhalte hingegen würde eine gewisse Menge austreten. Der Inhalt dieser Zellen scheint vorwiegend aus eiweißartigen Stoffen zu bestehen, woraus sich auch erklärt, daß solche Häute, wenn sie mit Wasser in Berührung kommen, aufquellen: die eiweißartigen Stoffe nämlich, in permeable Häute eingeschlossen, ziehen viel Wasser in die Zelle ein, von ihnen selbst kann sich jedoch nur wenig durch die Membran hindurch nach außen bewegen; es ist mithin klar, daß die Zellen, während sie viel Wasser in sich aufnehmen, sich ausdehnen, ihr Volumen vergrößern und dadurch die ganze Haut aufquellen machen. Weiter erklärt sich auch daraus, warum Jolly, Ludwig, Brücke und Schmidt in dem Wasser, welches durch thierische Häute gegangen war, verbrennliche Stoffe gefunden haben. Schmidt[1]), der Wasser und Salzlösungen vermittelst Druck durch thierische Häute filtrirte, fand, daß das specifische Gewicht des Filtrates zugenommen hatte, was, wie man gleich sehen wird, nur auf der Aufnahme löslicher Stoffe aus den Zellen beruhte. Schmidt fand folgende Zahlen:

Destillirtes Wasser	spec. Gewicht	1,00000
nachdem es durchfiltrirt war	„ „	1,00014
	also Differenz	+ 0,00014
+ Differenz bei der Lösung des Glaubersalzes		0,00002
„ „ „ „ „ salpetersauren Kali's . . .		0,00003
„ „ „ „ „ Kochsalzes		0,00058

Aus dem durchfiltrirten destillirten Wasser schied Alkohol durch Kochen flockige Massen ab, was auf eine eiweißartige Substanz hindeutet.

Flüssigkeiten, welche mit der Muskelfaserschicht der genannten Häute in Berührung kommen, werden durch die capillaren Zwischenräume dieses Gewebes hindurchgehen. Aus dem Gesagten geht hervor, daß bei der Diffusion solcher thierischen Häute die Erscheinungen der Membrandiffusion und der Porendiffusion sich verschmelzen. Hierauf hat Fick (a. a. O.) schon aufmerksam gemacht. An welchen Häuten die Diffusionserscheinungen im Interesse der Zoophysiologie zu studiren sind, muß uns der Anatom sagen. Ich glaube, daß die serösen Häute noch am meisten zu berücksichtigen sein werden. Schließlich sei noch angedeutet, daß die große Veränderlichkeit der zu Diffusionsversuchen bis jetzt gebrauchten thierischen Häute, wodurch die Zuverlässigkeit der Versuche so bedeutend abgeschwächt

---

[1]) Poggendorf's Annalen Band 99. Ueber Filtrationsgeschwindigkeit u. s. w.

wird, zum größten Theile eben der Wasseraufnahme der Epithelialzellen zuzuschreiben ist.

Von pflanzlichen Membranen sind bei Diffusionsversuchen zur Verwendung gekommen Kautschukblättchen (Fischer), die innere Haut der Hülse von Colutea arborescens, von Bohnen, das Blatt einer großen einzelligen Alge, Caulerpa prolifera (Schacht). Die Kautschukblättchen können wegen ihrer Undurchdringlichkeit für Wasser nicht gebraucht werden; die Substanz ist zu sehr chemisch-verschieden von Cellulose, woraus die Membran der Pflanzenzelle besteht. Die innere Haut aus der Hülse von Papilionaceen sind Zusammenhäufungen lufterfüllter Zellen und würden sich deshalb schon mehr zu physiologischen Diffusionsversuchen eignen: jeder Zelleninhalt ist aus ihnen verschwunden, und die Diffusion findet durch reine Cellulose statt. Weniger geeignet dürfte das Caulerpablatt sein, weil man hier in der Regel noch einen diffusionsfähigen Inhalt findet. Sind nun auch die besprochenen Hülsenhäute zuläßig, so können wir sie doch nicht bei unsern Versuchen gebrauchen, weil sie erstens in zu geringer Flächenausdehnung gefunden werden, und zweitens zu leicht zerreissen, was sie zu einer größeren Reihe vergleichender Versuche untauglich macht.

Um allen diesen Unannehmlichkeiten zu entgehen, stellte ich mir Häute aus Collodium dar. Wenn man Collodium auf eine (Porzelan oder Glas-) Platte ausgießt, so erhält man eine solche Haut, welche jedenfalls aus Nitrocellulose besteht. Diese ist bekanntlich eine Cellulose, die durch Berührung von Schwefel- und Salpetersäure eine Veränderung erlitten hat, wobei 3 Aequivalente H durch 3 Aequivalente NO_4 substituirt wurden — $C_{12} H_7 (NO_4)_3 O_{10}$. — Diese Verbindung löst sich in einem Gemisch von Alkohol und Aether und heißt dann Collodium. Verdunstet das Lösungsmittel, so bleibt eine durchsichtige, feste Haut zurück, bei welcher die Diffusionserscheinungen doch nur sehr langsam vor sich gehen. Permeabler wird sie, wenn man sie vor dem völligen Verdunsten des Lösungsmittels unter Wasser bringt, welches dann den Alkohol und Aether auszieht. Es fragt sich nun, ob wir diese Haut der Cellulose substituiren dürfen. In Anbetracht der chemischen und anatomischen Beschaffenheit beider Membrane dürfen wir die Frage theoretisch mit „Ja" beantworten; auch directe Versuche, welche zu diesem Zwecke gemacht wurden, ließen keinen Zweifel mehr darüber. Bei der Behandlung der Cellulose z. B. der Haarzellen, welche wir Baumwolle nennen, mit Schwefel- und Salpetersäure erleidet die Membran außer der chemischen keine weitere Veränderung; das optische Verhalten, welches uns über die Structurverhältnisse der Zellenhäute Aufschluß giebt, ist bei der Baumwolle nicht

anders als bei der daraus hervorgegangenen Schießbaumwolle (Schacht)[1]). Auch die Entstehung der Zellmembran und der Nitrocellulosemembran ist im Wesentlichen gleich, bei beiden besteht sie in einem Erhärten eines flüssigen Stoffes, wodurch structurlose Häute entstehen. Ueberzeugender ist beider Verhalten gegen durchströmende Stoffe. Wie wir später sehen werden, verhält sich die Diffusion des Alkohols, des salpetersauren Ammoniaks und des Chlorcalciums bei der Nitrocellulosemembran ganz eigenthümlich, so daß dieses Diffusionsverhalten als charakteristisch für die in Rede stehende Membran angesehen werden muß. Die Diffusion dieser Stoffe gestaltet sich aber grade so auch bei der Haut aus den Hülsen von Colutea und Bohnen, nach Schacht[2]) hinsichtlich des Alkohols auch bei dem Caulerpablatte. In der Uebereinstimmung dieser charakteristischen Erscheinungen ist die Annahme vollständig begründet, daß die Diffusionserscheinungen bei Membranen aus Collodium sich ganz so verhalten, wie bei Membranen aus reiner Cellulose; und wenn ich die Gesetze der Membrandiffusion, studirt mit Membranen aus Collodium, auf die Pflanzenzelle übertrage, so werde ich vollkommen gerechtfertigt sein.

Wie die Collodium- oder Nitrocellulosemembrane dargestellt werden, habe ich oben schon angedeutet. Collodium wird auf eine Platte gegossen, auf derselben ausgebreitet; wenn der Aether und Alkohol soweit verdunstet ist, daß sich die Haut von der Platte ablösen läßt, ohne sich auseinanderzuziehen, verschließe ich damit die eine Oeffnung einer Glasröhre, lasse dann unter Wasser den Rest des Lösungsmittels ausziehen. Häufiger als diese Form habe ich die Röhrenform angewendet, welche wesentliche Vortheile bietet. Die Darstellung solcher Röhren, überhaupt meines Apparates sei hier in Kürze beschrieben. Einen Reagircylinder von ungefähr 80 Millimeter Länge und 17—18 Millimeter Durchmesser fülle ich mit Collodium an, gieße dasselbe aber sogleich wieder aus, wobei an der Wand des Cylinders etwas Collodium haften bleibt; nachdem ich noch einige Zeit habe abtropfen lassen, suche ich durch die verschiedensten Drehungen des Cylinders das Zurückgebliebene über die innere Wand gleichmäßig zu vertheilen, was ich solange fortsetze, bis das Collodium einigermaßen abgetrocknet ist; hierauf stelle ich den Cylinder zum weiteren Abtrocknen, d. h. Verdunsten des Lösungsmittel hin. Entweder wird nun die Collodiumröhre wie ich gleich beschreiben werde, behandelt, oder ich wiederhole die Operation des Eingießens noch einigemal, jenach-

---

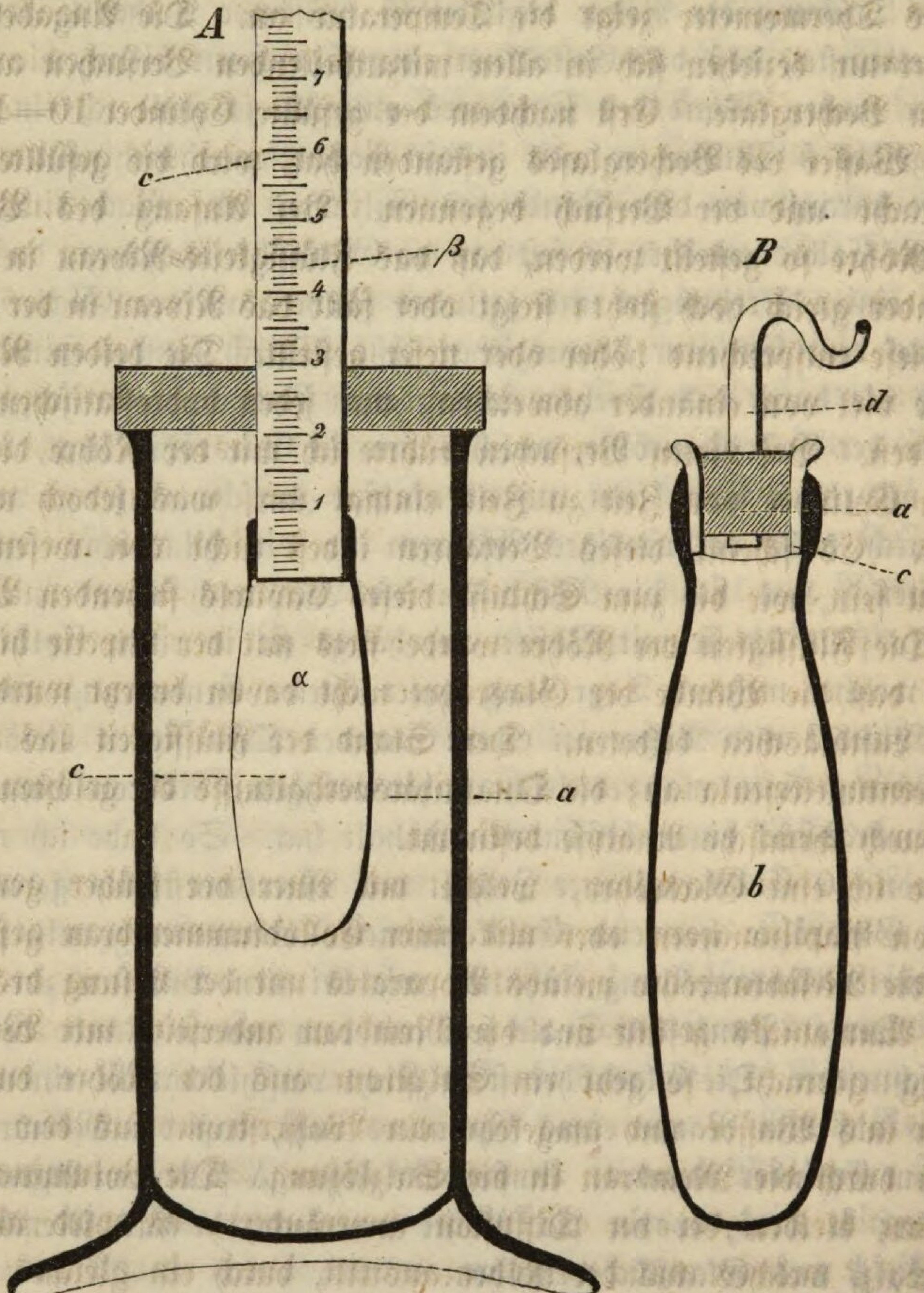
[1]) Schacht, Lehrbuch der Anat. u. Phys. der Gewächse. 1. Th. S. 253.
[2]) Ebendaselbst S. 362.

dem ich der Röhrenwand eine gewisse Dicke geben will. Das erneuerte Eingießen geschieht immer erst dann, wenn das Collodium des vorhergegangenen Eingießens trocken geworden ist, was gewöhnlich von einer milchigten Trübung der Röhre begleitet ist. Ist der Aether u. s. w. nun so weit verdunstet, daß das Collodium eine zähe Haut bildet, die röhrenförmig der innern Wand des Cylinders anliegt, so stecke ich eine Glasröhre ungefähr 5 Millimeter weit in die Collodiumröhre hinein und löse die letztere darauf von dem Rande des Cylinders ab. Nach einiger Zeit hat sich die Collodiumröhre so fest an die Glasröhre angelegt, daß erstere sich durch einige Drehungen und gelindes Ziehen an der Glasröhre unverletzt aus dem Cylinder herausziehen läßt. Durch sanftes Hineinblasen lassen sich die durch das Drehen entstandenen Falten wieder wegbringen. Das Ende der Collodiumröhre, welches um die Glasröhre liegt, bestreiche ich noch mit etwas Collodium, um allenfalsige Zwischenräume zu verkleben, welche durch nicht vollständiges Anliegen an die Glasröhre entstanden sein könnten. Hat sich die Röhre an der Luft noch etwas zusammengezogen, so fülle ich sie mit Wasser an, hänge sie in einen Cylinder mit Wasser, welcher mehrere Tage lang unter öfterer Erneuerung des Wassers in Cylinder und Röhre an einem warmen Orte stehen bleibt. Bei einiger Uebung kann man es leicht dahin bringen, Röhren darzustellen, deren Membranstück einen bestimmten Inhalt hat. So habe ich meistens Röhren von 10 Cubikcentimeter Inhalt des Membranstückes gebraucht.

Die Glasröhre hat eine Cubikcentimeter-Eintheilung mit Zehntelcubikcentimeter-Untertheilung, ähnlich wie bei den Buretten zur Maaßanalyse. Der 0-Punkt der Scale soll mit dem untern Rande der Glasröhre abschneiden. Die Glasröhre steckt leicht verschiebbar in einem Korke, welcher so auf dem Rande eines Cylinders ruht, daß die Membranröhre sich in dem Cylinder befindet. Umstehende Figur A stellt den Apparat dar. a Cylinder; b Kork, worin die Röhre cc steckt; α das Membranstück der Röhre, β das Glasstück derselben.

B ist eine Membranröhre, welche nach allen Seiten vollständig abgeschlossen ist, mithin eine Zelle einigermaßen repräsentiren kann. c ein kurzes Stück Glasröhre, welches durch den Kork a verschlossen werden kann; b die Membranröhre; d ein luftdicht in dem Korke steckendes Röhrchen, welches zum Aufhängen dient und gleichzeitig das Schließen der Röhre erleichtert. Der Kork mit dem spitz ausgezogenen und oben offenen Röhrchen wird, wenn die Röhre gefüllt ist, aufgesetzt und in den Glashals c hineingedrückt; die zwischen Flüssigkeit und Kork befindliche Luft geht durch das Röhrchen d fort, welches dann vor einem Löthrohre schnell zugeschmolzen wird. Auf diese Weise gelingt es, die Röhre

zu schließen, ohne die Membran in Spannung zu versetzen. Ich will hier noch einige Worte über die Art der Benutzung des Apparates einschalten.



Wo nichts weiter angegeben ist, wurde der Apparat A gebraucht. In die Röhre des Apparates brachte ich gewöhnlich die concentrirtere der zu untersuchenden Flüssigkeiten, während der Cylinder die verdünntere Lösung oder das Wasser enthielt. Bei Versuchen mit Salzlösungen, Säuren u. dgl. gegen Wasser befand sich letzteres immer im Cylinder; bei Versuchen mit Eiweiß und ähnlichen Stoffen gegen Salzlösungen waren letztere im Cylinder. Die Temperatur suchte ich dadurch auf gleicher Höhe zu erhalten, daß ich den Cylinder in ein größeres mit Wasser gefülltes Becherglas setzte und während des Versuches in diesem das

Wasser auf der bestimmten Temperatur erhielt, entweder durch Hinstellen an einen warmen Ort oder durch Hinzugießen von warmem oder kaltem Wasser, je nachdem die Umstände es erforderten. Ein stets im Wasser befindliches Thermometer zeigt die Temperatur an. Die Angaben über die Temperatur beziehen sich in allen mitzutheilenden Versuchen auf das Wasser im Becherglase. Erst nachdem der gefüllte Cylinder 10—15 Minuten im Wasser des Becherglases gestanden hat, wird die gefüllte Röhre hineingebracht und der Versuch begonnen. Bei Anfang des Versuchs muß die Röhre so gestellt werden, daß das Flüssigkeits-Niveau in Röhre und Cylinder gleich hoch steht; steigt oder fällt das Niveau in der Röhre, so wird diese entsprechend höher oder tiefer gestellt. Die beiden Niveau's dürfen nie viel von einander abweichen, um jeden hydrostatischen Druck zu vermeiden. Bei vielen Versuchen rührte ich mit der Röhre die Flüssigkeit im Cylinder von Zeit zu Zeit einmal um, was jedoch unzweckmäßig ist. Es scheint dieses Verfahren indeß nicht von wesentlichem Belang zu sein, wie die zum Schlusse dieses Capitels stehenden Versuche zeigen. Die Flüssigkeit der Röhre wurde stets mit der Pipette hineingebracht, so daß die Wände der Glasröhre nicht davon benetzt wurden und sich keine Luftbläschen bildeten. Den Stand der Flüssigkeit las ich an der Cubikcentimeterscala ab; die Quantitätsverhältnisse der gelösten Stoffe wurden durch chemische Analyse bestimmt.

Habe ich eine Glasröhre, welche mit einer der früher genannten Häute von Papilionaceen oder mit einer Collodiummembran geschlossen ist, oder die Membranröhre meines Apparates mit der Lösung des salpetersauren Ammoniaks gefüllt und die Membran anderseits mit Wasser in Berührung gebracht, so geht ein Salzstrom aus der Röhre durch die Membran in's Wasser und umgekehrt ein Wasserstrom aus dem Wasser außerhalb durch die Membran in die Salzlösung. Die Volumina beider Flüssigkeiten bleiben bei der Diffusion unverändert; es wird also das Volum Salz, welches aus der Röhre austritt, durch ein gleiches Volum Wasser ersetzt, und in der Membran bewegen sich gleiche Volumina Wasser und Salz an einander vorbei. Es geht daraus hervor, daß salpetersaures Ammoniak und Wasser von den Molecülen der Membran gleich stark angezogen werden. Dieser Fall ist jedoch einer der allerseltensten; in der Regel nimmt das Volum einer der Flüssigkeiten auf Kosten der anderen zu; die meisten Salzlösungen und Säuren, wenn sie sich durch permeable Membrane mit Wasser mischen, vergrößern dabei ihr Volum. Daß diese Erscheinungen auf der ungleichen Anziehung der Membransubstanz beruhen, ist leicht einzusehen. Auf der Seite des Wassers werden aus den Molecularinterstitien der Membran Salzmolecüle fortgeführt, aus

dem Innern der Membran werden die fortgeführten ersetzt, und so findet eine Bewegung der Salzmolecüle von der einen Fläche der Membran zur andern Statt. Auf der Seite der Salzlösung werden Wassermolecüle aus den Molecularinterstitien fortgeführt, welche auf die beschriebene Weise wieder ersetzt werden. Wenn nun die Anziehung der Molecüle der Membran zu den durchdringenden Molecülen die Verbreitung der letzteren durch die Membran bedingt, so muß nothwendig auch eine stärkere Anziehung eine schnellere Bewegung und Verbreitung der Molecüle durch die Membran zur Folge haben. Das Wasser wird stärker angezogen als die meisten Salze, es ist deshalb erklärlich, daß in einer Zeiteinheit bei einer Diffusion mehr Wasser durch die Membran zur Salzlösung geht als gleichzeitig Salz in umgekehrter Richtung zum Wasser, und daß das Volum der Salzlösung größer wird. Aehnlich wie Salze verhalten sich auch die meisten Säuren. Ein Versuch mit Schwefelsäure wird uns die Sache anschaulich machen.

In die Membranröhre meines Apparates brachte ich 10 CC (Kubikcentimeter) einer verdünnten Schwefelsäure, welche in 100 CC 13,5 Gramm wasserfreier Säure (SO_3) enthielt; in dem Cylinder waren 60 CC destillirtes Wasser; der Versuch dauerte 1 Stunde.

In der Röhre zu Anf. d. Vers.	10,0 CC	Säure mit	1,3489	Gramm	SO_3
— — — nach 1 Stunde	12,8 CC	— —	0,4866	—	—
Aus der Röhre war in den Cylinder übergetreten			0,8623	—	—

Die Volumzunahme der Säure in der Röhre betrug 2,8 CC.

Berechnen wir die in den Cylinder übergetretene Schwefelsäure auf Volum, so erhalten wir, das specifische Gewicht der SO_3 zu 1,97 angenommen, 0,8623 Gramm $= \frac{0,8623}{1,97} = 0,438$ CC. Außer der Volumzunahme war noch ein Volum Wasser in die Röhre eingetreten, welches den 0,438 CC SO_3 entspricht; das Volum des eintretenden Wassers betrug also $2,8 + 0,438 = 3,238$ CC. In der Membran ging vorbei an

0,438 CC SO_3 3,238 Wasser oder an 1 Säure 7,4 Wasser.

Ist in der Röhre Alkohol, so geht mehr Alkohol zum Wasser als Wasser zum Alkohol; weshalb denn das Volum des Alkohols abnimmt. Bei einer gewissen Reihe von Stoffen, wie Chlorcalcium, Chlorbaryum u. s. w., gestaltet sich die Diffusion ganz eigenthümlich; hier giebt es ein gewisser Concentrationsgrad, bei welchem die Volumina unverändert bleiben, bei niedrigerer Concentration nimmt das Volum der Lösung ab, bei höherer nimmt es zu. Diese Eigenthümlichkeit ist auch bei thierischen Membranen beobachtet worden. Wir werden diese Ver-

hältnisse nun bei den verschiedenen Stoffen und ihre Ursache zu studiren haben; zunächst wollen wir uns aber zu den Erscheinungen wenden, welche durch den Einfluß der Concentration hervorgerufen werden.

Einfluß des Umrührens auf die Diffusionsversuche.

Oralsäurelösung von 6,3%. In der Röhre 10 CC Lösung; im Cylinder 60 CC dest. Wasser; Versuchsdauer 1 Stunde; Temperatur 20° C.

1. Mit Umrühren.

In der Röhre zu Anf. d. Vers.	10,0 CC Lösung	mit 0,6300	Gramm	$\bar{O}$
— — — nach 1 Stunde	12,2 CC —	— 0,2180	—	—
Uebergetreten in den Cylinder		0,4120	—	—

2. Ohne Umrühren.

In der Röhre zu Anf. d. Vers.	10,0 CC Lösung	mit 0,6300	Gramm	$\bar{O}$
— — — nach 1 Stunde	12,3 CC —	— 0,2148	—	—
Uebergetreten in den Cylinder		0,4152	—	—

Differenz 0,0032 Gramm, die nicht einmal außerhalb der Grenzen der unvermeidlichen Fehler liegt; trotzdem halte ich es für besser die Diffusion ungestört von Statten gehen zu lassen.

Die Bedingungen vergleichender Versuche.

Die Diffusionserscheinungen lassen sich nur durch vergleichende Versuche studiren, d. h. durch eine Reihe von Versuchen, welche alle unter gleichen Bedingungen angestellt werden, und bei welchen Alles, was darauf einzuwirken vermag, Berücksichtigung findet. In diesem Capitel will ich die Bedingungen solcher vergleichenden Versuche etwas näher betrachten, was ich um so nöthiger erachte, als bisher vielfach dagegen gesündigt wurde.

Zu den gleichen Bedingungen zähle ich:

1. Dieselbe Membran,
2. Unveränderlichkeit derselben,
3. Gleiche Mengenverhältnisse,
4. Gleiche Versuchsdauer,
5. Gleiche Temperatur und
6. Vollständiges Aufgehobensein jedes hydrostatischen Druckes.

Weil man wol schwerlich zwei oder mehrere Membrane darstellen wird, die in ihrer Permeabilität ganz gleich sind, so ist man gezwungen, zu den Versuchen Einer Reihe ein und dieselbe Membran zu verwenden. Der Versuche einer solchen Reihe sind oft viele, es ist deshalb nöthig,

daß die Membran unveränderlich ist; denn mit deren Veränderung würden die Resultate auch veränderlich und nicht unter einander vergleichbar sein. Die Veränderungen, welche eintreten könnten, sind: Veränderung in der chemischen Natur der Membransubstanz, Ablagerung gewisser Stoffe in die Membransubstanz und Zusammenziehung der Membran selbst mit Verkleinerung ihrer Oberfläche und Verdichtung ihrer Substanz.

Was die zweite Veränderung betrifft, so ist, um derselben vorzubeugen, nur nöthig alle Stoffe fernzuhalten aus einer Reihe, welche Niederschläge bilden z. B. Kalksalze und oxalsaure Salze, und solche, welche sich schwer durch die Membran hindurch bewegen, wie Eiweiß. Mehr wäre die erste Veränderung zu befürchten, hervorgerufen durch die Einwirkung der bei den Versuchen mit der Membran in Berührung kommenden Agenzien, wie Wasser, Salzlösungen, Säuren u. s. w. Daß manche derselben verändernd auf die Membran einwirken, ist gar nicht zu bezweifeln; ob dies aber auch bei der Concentration meiner Versuchslösungen und bei der kurzen Dauer meiner Versuche der Fall sei, mußte ich feststellen. Deshalb untersuchte ich mehrere Membrane, nachdem sie zu einer Reihe von Versuchen gedient hatten und mit den verschiedensten Salzlösungen, Säuren, Wasser u. s. w. in Berührung gekommen waren, auf ihre Unveränderlichkeit. So sei der Membran erwähnt, welche zu der Versuchsreihe I. Capitel Durchgangsfähigkeit und zu noch vielen anderen Versuchen verwendet worden, nachdem sie mindestens fünf Wochen alt und während der Zeit, wo sie nicht zu Versuchen gebraucht wurde, unter Wasser aufbewahrt war.

Verdünnte Schwefelsäure, welche in 100 CC 10 Gr. SO_3 enthielt.

In der Röhre 10 CC Säure; im Cylinder 60 CC Wasser; Versuchsdauer 1 Stunde; Temperatur 20° C.

1. Nr. 3 aus Versuchsreihe I. Cap. Durchgangsfähigkeit.

In der Röhre zu Anf. d. Versuchs	10,0 CC	Säure mit	1,0038	Gr.	SO_3
— — — nach 1 Stunde	12,3 CC	— —	0,4013	—	—
Uebergetreten in den Cylinder			0,6025	—	—

2. Controllversuch.

In der Röhre zu Anf. d. Versuchs	10,0 CC	Säure mit	1,0038	Gr.	SO_3
— — — nach 1 Stunde	12,2 CC	— —	0,3990	—	—
Uebergetreten in den Cylinder			0,6048	—	—

Differenz: 0,0023 Gr.

Eine andere Membran, welche 4—5 Monate alt war, und in den ersten 4 Wochen oft 1—2 Tage mit 10 procentigen Lösungen von Chlorkalium, Chlornatrium, Chlorcalcium, schwefelsaurem Kali, Natron und

Ammoniak und Zucker in Berührung und später stets unter Wasser blieb, gab bei zwei Versuchen mit Chlorkalium, der erste bald nach der Herstellung, der zweite nach der angegebenen Zeit ausgeführt eine Differenz von + 0,0041 Gr. für den zweiten Versuch. Auffallend war es, in dem Wasser, worin sich die Membran 2 Monate lang befunden hatte, nicht unbedeutende Spuren von Salpetersäure zu finden, die jedenfalls auf eine Zersetzung der Nitrocellulose hinweist, wobei Salpetersäure frei und Cellulose vielleicht regenerirt wurde. Trotzdem hatte die Permeabilität höchst unbedeutend gelitten. Dieselbe Membran untersuchte ich später noch einmal, nachdem sie nämlich den Winter über, im Wasser aufbewahrt, mehreremal einfror und das Eis wieder aufthaute; nun gab sie mit dem zweiten Versuche verglichen eine Differenz von + 0,0112 Gr., die Permeabilität war also bedeutend größer geworden, obgleich das Volum der Membranröhre sich um nichts geändert hatte (sie faßte vor wie nach 10,1 CC). Kali- und Natronlauge machen die Membran aufquellen; auch die kohlensauren Alkalien sind nicht ganz frei von einer chemischen Einwirkung, wenigstens in concentrirterer Lösung; denn die Permeabilität nimmt, wie ich durch Versuche fand, durch sie zu. Es ist deshalb zweckmäßig, die Versuche mit kohlensauren Alkalien in einer Reihe als letzte Folgen zu lassen.

Daß die Temperatur auf die Diffusion von Einfluß ist, brauch' ich wol kaum mehr zu bemerken; wie sie indeß wirkt, werde ich später zeigen. Nöthig ist es, die Versuche Einer Reihe immer unter derselben Temperatur anzustellen.

Der hydrostatische Druck hat den Experimentatoren viel zu schaffen gemacht. Die meisten endosmotischen Apparate waren so eingerichtet, daß während des Steigens der einen Flüssigkeit ein Druck auf die Membran ausgeübt wurde, welcher die Resultate beeinflußte. Es wurde dieser Uebelstand schon früh erkannt, und hat man sich vielfach bemüht, ihn zu beseitigen. Dutrochet und Mateucci verfehlten diese Aufgabe ganz; Vierordt [1]) construirte einen Apparat, welcher vollständig dem Zwecke entspricht, dafür aber auch höchst complicirt ist. Bei meinem Apparate, der gewiß alle Ansprüche auf leichte Handhabung und Einfachheit machen darf, ist der hydrostatische Druck sehr leicht aufzuheben; das Nöthige darüber ist bereits gesagt.

---

[1]) Wagners Handwörterbuch der Physiologie. Bd. III. Abthlg. 1, Transudation und Endosmose von Vierordt.

Wie man aus dem Vorhergehenden ersehen hat, ist der beschriebene Apparat fähig die genauesten und zuverlässigsten Resultate zu geben, und um zu denselben zu gelangen, kömmt es nur auf Geschicklichkeit und Pünktlichkeit des Experimentatoren an.

Einfluß der Concentration der Lösungen auf die Membrandiffusion.

Um die Eigenthümlichkeiten der Membrandiffusion kennen zu lernen und um sie in ihren Beziehungen zum physikalischen Wesen der Membrandiffusion zu erfassen, dürfte der Einfluß der Concentration am lehrreichsten sein. Schon die ersten Experimentatoren hatten bemerkt, daß die Concentration der Versuchsflüssigkeiten von wesentlichem Einflusse auf die Membrandiffusion oder auf die endosmotische Mischung ist. Im Allgemeinen hatte man beobachtet, daß mit der größeren Concentration auch meist eine größere Volumzunahme verbunden war, wenn sich Salzlösungen oder Säuren durch permeable Membrane mit Wasser mischten. Nachdem Dutrochet gezeigt hatte, daß sich neben dem Strome aus dem Wasser zur Salzlösung auch ein Strom aus der Salzlösung zum Wasser bewege, und man diesen Strom auf seine Stärke untersuchte, fand man ihn auch mit der Concentration zunehmen. Ein bestimmtes Gesetz über das Verhältniß zwischen Concentration und Volumzunahme ließ sich aber nicht aufstellen, weil die Erscheinungen zu sehr differirten und die Sache nicht vielseitig genug untersucht wurde. Vierordt mag der erste gewesen sein, der durch eine gründliche Untersuchung zu bestimmten, auch einigermaßen zuverlässigen Zahlen gelangte.

Ob die Menge der übertretenden Stoffe der Concentration der Lösung proportional sei, war eine Frage die mehrere Forscher beschäftigte, so Dutrochet, Vierordt, Jolly, Ludwig. Wir werden später sehen, zu welchen Resultaten sie gelangten. Es sei hier schon bemerkt, daß Dutrochet (13) Versuche anführt, welche ein proportionales Verhältniß zwischen Endosmose und Concentration der Lösung bestätigen. Wenn man aber bedenkt, wie unvollkommen der Dutrochet'sche Apparat ist, daß überhaupt vergleichbare Resultate von ihm nicht erwartet werden können, so muß man es mit Vierordt rein unerklärlich finden, daß eine Uebereinstimmung zwischen den gefundenen und berechneten Volumzunahmen herrscht.

Bei der Diffusion zwischen Eiweiß-, Gummi-, Zuckerlösungen u. dgl. einerseits und Salzlösungen anderseits hat man meistens falsche Ansichten

entwickelt, was indessen nicht auffallend sein kann, weil den bei der Diffusion obwaltenden Verhältnissen überhaupt nicht genügende Rechnung getragen wurde. Später mehr darüber.

Jolly[1]) glaubte aus seinen Versuchen das allgemeine Gesetz ableiten können, daß die Menge der in einer Zeiteinheit bei der Membrandiffusion übertretenden Stoffe unter sonst gleichen Verhältnissen der Concentration proportional sei. Einige hielten dieses Gesetz für vollständig erwiesen, Andere besonders Ludwig[2]) durch eine größere Versuchsreihe widerlegten dasselbe. Es scheint dieses Gesetz nur für wenige Stoffe zu bestehen, nämlich für solche, die mit dem Wasser eine gleiche Anziehung von der Membransubstanz erleiden, wo also keine Volumzunahme bei der Membrandiffusion stattfindet — salpetersaures Ammoniak bei Collodiummembranen. Bei allen Stoffen, die weniger stark, oder stärker als Wasser angezogen werden, bedingt eben der verschiedene Grad der Anziehung ein von der Proportionalität abweichendes Verhältniß, wenn sie sich mit Wasser durch Membrane mischen; es kann nur so und nicht anders sein, wie die späteren Versuche zeigen werden.

Meine Versuche beziehen sich auf Oxalsäure, Schwefelsäure, schwefelsaures Ammoniak, Chlorammonium und die Chlorverbindungen der alkalischen Erden. Ich bestimmte die Volumzunahme und bei mehreren die zum Wasser übergetretene Menge des gelösten Stoffes. Um eine leichtere Uebersicht zu haben, berechnete ich die zum Wasser übergetretenen Mengen gelösten Stoffes bei den verschiedenen Dichtigkeiten auf 10%. Die Zahl für 10% soll andeuten diejenige Menge, welche bei dieser Concentration übertreten müßte, wenn die Proportionalität wirklich bestände; wenn z. B. bei 2% 0,13 Gr. Säure in's Wasser übergeht, so müßte unter der angezogenen Bedingung bei 10% $5 \times 0{,}13 = 0{,}65$ übertreten; das berechnete Resultat erreicht indeß nie das für 10% wirklich gefundene. Die Volumzunahme ist auf Ein Gramm der zum Wasser gegangenen Säure u. s. w. berechnet.

---

[1]) Henle und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medizin. Band 7.

[2]) Ebendaselbst Band 8.

I. Versuchsreihe. Oxalsäure.

In der Röhre 10 CC Lösung; im Cylinder 60 CC Wasser; Versuchsdauer 1 Stunde; Temperatur 20° C.

Nr.	Concentration der Lösungen: Procent [1])	Concentration der Lösungen: In 10 CC Lösung der Röhre enth.	In 1 Stunde übergetreten auf das Wasser des Cylinders	Volumzunahme der Lösung in der Röhre nach 1 Stunde	Die zum Wasser übergetretene Säure auf 10 % berechnet.	Volumzunahme auf Ein Gramm berechnet.
1.	9,9	0,9945 Gr. $\bar{o}$	0,6518 Gr. $\bar{o}$	2,2 CC	0,655 Gr.	3,38 CC
2.	6,3	0,6300 — —	0,4120 — —	2,2 —	0,654 —	5,34 —
3.	5,0	0,4952 — —	0,3264 — —	2,2 —	0,659 —	6,74 —
4.	2,2	0,2205 — —	0,1354 — —	2,5 —	0,635 —	18,46 —
5.	0,827	0,08278 — —	0,04775 — —	3,5 —	0,577 —	73,37 —
6	0,184	—	—	4,2 —	—	—
7.	0,061	—	—	4,5 —	—	—
8.	0,020	—	—	3,6 —	—	—
9.	0,0066	—	—	2,3 —	—	—

II. Versuchsreihe. Schwefelsäure.[2])

Inhalt der Röhre 10 CC Lösung; im Cylinder 60 CC Wasser; Versuchsdauer 1 Stunde; Temperatur 20° C.

1.	13,5	1,3489 Gr. SO_3	0,8623 Gr. SO_3	2,8 CC [2])	0,638 Gr.	4,10 CC
2.	7,2	0,7228 — —	0,4598 — —	2,4 —	0,636 —	5,22 —

[1]) In 100 CC Säure 9,9 u. s. w. Gramm $\bar{o}$ ($C_2HO_4 + 2HO$).

[2]) Volumzunahme mit der Pipette gemessen; ist mithin als nicht sehr genau anzusehen; die Volumzunahmen von Vers. 1 und 2 scheinen miteinander verwechselt zu sein.

Ein Blick auf die letzte Columne belehrt uns, daß das Verhältniß zwischen Concentration und der Volumzunahme auch nicht im geringsten proportional ist, daß diejenige Menge Wasser, welche an Einem Theile Säure vorübergeht, um so größer wird, als die Lösung an Concentration abnimmt. Die Volumzunahme ist nämlich ein Ausdruck für das Verhältniß der sich an einander vorbei bewegenden Quantitäten Säure und Wasser; je größer die Volumzunahme auf Ein Theil der zum Wasser übergetretenen Säure ist, um so mehr Wasser bewegt sich auch an der Säure in der Membran vorbei. Am anschaulichsten ist die Sache, wenn man die Gewichtsmengen Säure auf Volum berechnet, wie es gleich an den Versuchen mit Schwefelsäure geschehen soll. Das specifische Gewicht der wasserfreien Schwefelsäure (SO_3) zu 1,97 genommen, giebt für die genannten Versuche folgende Volumina:

Ausgetreten aus der Röhre $\begin{cases} 0{,}8623 \text{ Gr., ist Volum } \frac{0{,}8623}{1{,}97} = 0{,}438 \text{ CC} \\ 0{,}4598 \text{ Gr., — — } \frac{0{,}4598}{1{,}97} = 0{,}233 \text{ CC.} \end{cases}$

In die Röhre trat außer der Volumzunahme noch ein Volum Wasser ein, welches dem austretenden Volum Säure gleich ist. In die Röhre ist also eingetreten bei Versuch

1. 0,438 CC + 2,8 CC = 3,238 CC Wasser.
2. 0,233 CC + 2,4 CC = 2,633 CC Wasser.

In der Membran ging mithin vorbei bei Versuch

1. an 0,438 CC Säure 3,238 CC Wasser = 1 : 7,4.
2. an 0,233 CC Säure 2,633 CC Wasser = 1 : 11,4.

Jolly nannte die Zahl, welche angiebt, wie viel Theile Wasser sich in der Membran an Einem Theil des gelösten Stoffes vorbeibewegen „endosmotisches Aequivalent"; auch wir wollen diesen Ausdruck beibehalten. Wie leicht begreiflich ist, läßt sich das endosmotische Aequivalent nach der Volumzunahme beurtheilen. Für Schwefelsäure haben wir 2 Aequivalente gefunden: für die Concentration von 13,5 % das Aequ. 7,4 für die Concentration von 7,2 % das Aequ. 11,4. Als Gesetz für Oxalsäure und Schwefelsäure können wir demnach den Satz aufstellen, daß das endosmotische Aequivalent um so höher ist, als die Concentration niedriger ist. Das endosm. Aeq. kann, wie die Versuche mit Oxalsäure zeigen, zu ganz enormer Höhe steigen. (Wären die Angaben für die Volumzunahmen der Schwefelsäure wirklich miteinander verwechselt, so würde das Aequivalent für die erstere Concentration 6,5, für die letztere 13,0 sein, Zahlen, welche auch wahrscheinlicher sind als die vorhin berechneten).

Eine Erklärung für diese Erscheinungen ist nicht schwer zu finden. Das Wasser wird von der Membransubstanz stärker angezogen als die Säure, und ersteres bewegt sich deshalb schneller durch die Membran als die letztere. Je concentrirter die Lösung ist, welche mit der Membran in Berührung steht, um so concentrirter ist auch die Lösung in der Membran selbst, d. h. in den Molecularinterstitien derselben. Bei einer concentrirteren Lösung ist weniger Wasser in der Lösung der Membran, als bei einer Lösung von geringerer Concentration; es ist deshalb der durch die Membran gehende Wasserstrom bei minder concentrirter Lösung stärker als bei der höher concentrirten, und es muß bei jener mehr Wasser durch die Membran gehen als bei dieser. Ein Beispiel soll uns das deutlicher machen.

Es sei auf der einen Seite der Membran eine Salzlösung, auf der andern Seite Wasser; Salz und Wasser dringen in die Molecularinterstitien der Membran ein. Die Salzlösung sei so stark, daß sich in den Interstitien eine Lösung von 20 Volumprocent bilde d. h. daß in ihr auf 20 Molecüle Salz 80 Molecüle Wasser kommen. Die Strömung der Wassermolecüle in der Membran geht nach der Seite der Salzlösung hin, die Strömung der Salzmolecüle in der Membran nach der Seite des Wassers hin. Wenn Salzlösung und Wasser sich durch eine Membran mischen, so bleibt die in der Membran sich Anfangs bildende Lösung während der Dauer der Diffusion, bis also aus Wasser und Salzlösung sich eine gleichprocentige Lösung gebildet hat, constant dieselbe, wenigstens wurde mir Dies durch eine mathematische Entwicklung höchstwahrscheinlich. Während die Salzlösung fortwährend an Concentration abnimmt, steigt die Concentration jener Lösung, welche Anfangs Wasser war, beständig. Hat sich nun in der Membran eine Lösung von 20 Volumprocent gebildet, so bleibt diese während der Dauer der Diffusion. Komme nun in einem anderen Falle mit derselben Membran eine minderconcentrirte Lösung in Berührung, die in den Molecularinterstitien eine Lösung von nur 10 Volumprocent bilde, so kommen auf 10 Salzmolecüle 90 Wassermolecüle, und es sind in dieser Lösung gegen die erstere 10 sich langsamer bewegende Salzmolecüle durch 10 sich schnellerbewegende Wassermolecüle vertreten oder mit anderen Worten: der sich schneller bewegende Strom ist stärker geworden, während der sich langsamer bewegende schwächer wurde. Es läßt sich der Salz- und Wasserstrom in der Membran mit Kanälen vergleichen, wovon jeder in ein besonderes Reservoir fließt, und wovon bei gleich großer Stromgeschwindigkeit der erste seinem Reservoir 20 Kubikfuß Wasser, der zweite seinem Reservoir 80 Kubikfuß Wasser in der Minute zuführt. Wenn nun bei dem zweiten die Strom-

geschwindigkeit doppelt so groß ist als bei dem ersten Kanale, so muß sich die ausfließende Menge des ersten zum zweiten verhalten wie 20 : 2 × 80 oder wie 1 : 8. Später verändern sich die Wassermassen in den Kanälen so, daß der erste seinem Reservoir nur 10, der zweite dagegen 90 Kubikfuß bei gleicher Stromgeschwindigkeit in der Minute zuführt; bei doppelter Stromgeschwindigkeit des zweiten Kanals wird sich jetzt die ausfließende Menge des ersten zu der des zweiten verhalten wie 10 : 2 × 90 oder wie 1 : 18. So auch bei unserm Diffusionsfalle. Die Salzströmung in der Membran ist der erste Kanal und das Wasser außerhalb der Membranröhre deren Reservoir; die Wasserströmung ist der zweite Kanal, welche die Salzlösung in der Membranröhre zum Reservoir hat. Die Strömungen bewegen sich in der Membran in entgegengesetzter Richtung und an einander vorbei, d. h. die Salzmolecüle an den Wassermolecülen; bei der 20procentigen Lösung tritt auf der Seite des Wassers aus der Membran 1 Salz aus, wenn auf der Seite der Salzlösung 8 Wasser austreten; bei der 10procentigen Lösung auf der Seite des Wassers 1 Salz, wenn auf der andern Seite 18 Wasser austreten; in der Membran bewegt sich bei der ersten Concentration an 1 Salz 8 Wasser, bei der zweiten Concentration an 1 Salz 18 Wasser vorbei, und das endosmotische Aequivalent ist für jene 8, während es für diese 18 ist.

Wenn man die für 10 % berechneten Zahlen als genaue Resultate ansieht und die Zahl I. 3 als zufällig abweichend betrachtet, so muß man schließen, daß von der Säure unter sonst gleichen Bedingungen verhältnißmäßig weniger zum Wasser geht, als die Proportionalität der Concentration verlangt, daß aber bei höheren Concentrationen dies weniger bemerkbar ist als bei niedern; so ist bei der Oxalsäure die zum Wasser übertretende Säuremenge zwischen 10 % und 4 % (nach einer andern Versuchsreihe zwischen 13 % und 4 %) annähernd der Concentration proportional, ebenso bei Schwefelsäure. Worin diese Thatsache begründet ist, wird durch die folgende Betrachtung klar werden.

Man kann sich denken, daß in einer Lösung von 0,1 Volumprocent 1 Molecül Säure von 999 Molecülen Wasser umgeben ist, in einer Lösung von 10 Volumprocent 1 Molecül von 9 Molecülen Wasser. Weil nun die Anziehung eine moleculare ist, d. h. von Molecül zu Molecül wirkt und die Anziehung mit der Entfernung abnimmt, so müssen die von dem Säuremolecül sich entfernter befindenden Wassermolecüle schwächer angezogen sein, als die dem Säuremolecül näher liegenden. Es läßt sich diese Sache deutlicher machen, wenn man sich zwei Kugeln

vorstellt, deren Mittelpunkt eine gleich große Anziehung besitzt, und wovon die eine einen Radius von 100 und die andre einen Radius von 1 hat; bei der 1. Kugel sind die Molecüle der Oberfläche weniger stark angezogen als bei der letzteren. Kommt nun mit der Oberfläche der größeren Kugel eine andere in Berührung und ebenso eine andere mit der kleineren Kugel, so wird die hinzugekommene Kugel im letzten Falle, weil sie dem anziehenden Mittelpunkte näher ist, stärker angezogen als im ersten Falle, wo sie von dem Mittelpunkte entfernter ist. Denken wir uns auch Wasser- und Salzmolecüle zu Kugeln gestaltet, so umgeben in der einen Lösung 999 Wassermolecüle 1 Salzmolecül, welches den anziehenden Mittelpunkt bildet, und in der anderen Lösung 9 Wassermolecüle 1 Salzmolecül; das Salzmolecül ist nach allen Seiten hin gleichmäßig von den Wassermolecülen umgeben und angezogen; es besteht Gleichgewicht zwischen dem Salzmolecül und den Wassermolecülen. Käme nun von irgend einer Seite ein neues Aggregat Wassermolecüle mit der Kugel in Berührung, so würden die Wassermolecüle des neuen Aggregates von dem Salzmolecül angezogen, natürlich bei der größeren Kugel weniger stark als bei der kleineren; der Gleichgewichtszustand ist gestört, das Salzmolecül und die Wassermolecüle beginnen eine Bewegung gegen einander, deren Resultat eine neue Kugel ist, worin die Wassermolecüle der alten Kugel und die zu dieser hinzugekommenen Wassermolecüle das Salzmolecül wieder gleichmäßig umgeben. Die Bewegung eines großen Theiles der Wassermolecüle in der größeren Kugel, nämlich derjenigen, welche vom Mittelpunkte, vom Salzmolecül, entfernter sind als die Gesammtheit der Molecüle der kleinern Kugel, ist langsamer als die Bewegung der Wassermolecüle in der kleinern Kugel, weil die Schnelligkeit der Bewegung mit der Größe der Anziehung in gradem Verhältniß steht; aus dieser Ursache muß die Bildung der neuen Kugel d. h. die Herstellung des Gleichgewichts zwischen den Wassermolecülen und dem Salzmolecül später eintreten bei der größeren als bei der kleinern Kugel.

Man kann sich vorstellen, daß die Lösungen aus solchen Kugeln oder Gleichgewichtselementen, worin 1 Salzmolecül von einer gewissen Zahl Wassermolecülen umgeben ist, bestehen; die Bildung neuer Gleichgewichtselemente ist das physikalische Wesen der Diffusion. Läßt man eine Schicht Salzlösung mit einer Schicht Wasser zusammentreten, so werden die der Wasserschicht zunächstliegenden Gleichgewichtselemente in ihrem Gleichgewichte gestört und ihre anziehenden Mittelpunkte, die Salzmolecüle, gehen, neue Gleichgewichtselemente bildend, auf die Wasserschicht über; die Gleichgewichtsstörung verbreitet sich immer weiter in der Salzschicht u. s. w. Je kleiner die Gleichgewichtselemente sind, d. h. je

concentrirter die Lösung ist, um so schneller ist auch die Bewegung der Wassermolecüle bei der Bildung neuer Gleichgewichtselemente, wodurch weiter wieder die Schnelligkeit der Diffusion bedingt ist. Die Schnelligkeit der Diffusion zweier Lösungen desselben Salzes ist nicht proportional der Concentration. Käme mit einem Gleichgewichtselement von 1000 Molecülen 1000 Molecüle Wasser und mit einem solchen von 10 Molecülen 10 Molecüle Wasser in Berührung, so erfordert die Umlagerung der 2000 Molecüle mehr Zeit als die Umlagerung der 20 Molecüle; die Zeit der Umlagerung könnte aber nur dann der Molecülanzahl proportional sein, wenn die Bewegung der Molecüle in den beiden Gleichgewichtselementen gleich schnell wäre; wir haben jedoch gesehen, daß die Bewegung des größten Theils der Molecüle des größeren Gleichgewichtselementes langsamer ist als in dem kleineren, weshalb auch die Umlagerung in größeren Gleichgewichtselementen gegen die Umlagerung in kleineren langsamer vor sich geht, als die Proportionalität der Molecülanzahl verlangt. Wenn die Schnelligkeit der Umlagerung in den Gleichgewichtselementen die Schnelligkeit der Diffusion bedingt, so muß die Diffusion einer verdünnteren Lösung, d. h. einer solchen, die aus größeren Gleichgewichtselementen besteht, gegen die Diffusion einer concentrirteren Lösung, welche also aus kleineren Gleichgewichtselementen gebildet wird, langsamer von Statten gehen, als die Proportionalität der Concentrationen fordert, und in einer Zeiteinheit wird die austretende Salzmenge bei jener kleiner sein, wie sie sein müßte, wenn Concentration und Diffusionsgeschwindigkeit proportional wären. Das Resultat, zu dem wir durch theoretische Reflexion gelangten, zeigt die Versuchsreihe mit Oxalsäure in Zahlen; und nachdem wir gesehen haben, wie die Schnelligkeit der Diffusion von der Anziehung in den Gleichgewichtselementen abhängig ist, kann es uns nicht mehr auffallend sein, daß bei den höheren Concentrationen (von 10 %—4 %) die Abweichung von der Proportionalität weniger stark hervortritt, als bei den niedrigeren Concentrationen (2 %—1 %), da ja die Anziehung nicht mit der Entfernung in einfachem, sondern in quadratischem Verhältniß abnimmt.

Die Eigenthümlichkeit, welche wir vorhin kennen lernten, gehört also nicht der Membrandiffusion allein, sondern auch der Diffusion an; sie ist nicht durch den Einfluß der Membrane bedingt.

Die Erscheinungen, wie wir sie bei Oxalsäure und Schwefelsäure kennen lernten, finden sich bei den meisten anderen Stoffen wieder, bei Salzen, Säuren, organischen Stoffen, wie Eiweiß, Gummi, Zucker, Alkohol u. s. w., überhaupt da, wo die Anziehung der Membransubstanz

zu den sich mischenden Stoffen ungleich ist. Wenn zwei Stoffe, welche von der Membranstubstanz gleiche Anziehung erleiden, sich durch eine Membran mischen, so muß natürlich die Menge der sich aneinander vorbei bewegenden Stoffen gleich sein, es tritt kein endosmotisches Aequivalent auf; die Schnelligkeit der Diffusion kann indeß auch hier nicht der Concentration proportional sein, es muß auch in dieser Hinsicht dasselbe eintreten wie bei Oxalsäure. Aus dieser Diffusionsclasse ist mir bis jetzt nur das salpetersaure Ammoniak bekannt; sie scheint mir übrigens auch nicht reich an Zahl zu sein. Das endosmotische Aequivalent des Chlorammoniums ist auch nur gering und wenig veränderlich, wie die folgende Versuchsreihe zeigt, der ich zum Vergleich noch eine mit schwefelsaurem Ammoniak beifügen will. Es sind in diesen Versuchsreihen freilich nur die Volumzunahmen der Lösung bestimmt; es läßt sich aus denselben jedoch, wie ich früher gezeigt habe, auf das endosmotische Aequivalent schließen.

In der Röhre 10 CC Lösung; in dem Cylinder 60 CC Wasser; Versuchsdauer 1/2 Stunde; Temperatur 20° C. Der Procentgehalt bezieht sich auf Gramme Salz in 100 CC Wasser.

	Volumzunahme der Lösung in der Röhre.	
	NH_4Cl	NH_4O, SO_3
Lösung von 20,00%	—	2,4 CC.
— — 10,00 —	0,3 CC	1,4 —
— — 5,00 —	0,2 —	1,0 —
— — 2,50 —	0,2 —	1,0 —
— — 0,50 —	0,2 —	1,2 —
— — 0,25 —	—	1,7 —

Die vorhin beschriebene Gestaltung der Diffusion habe ich als allgemein bezeichnet, dennoch giebt es eine Reihe von Stoffen, deren Diffusionsgestaltung in den verschiedenen Concentrationen wesentlich von der Allgemeinheit abweicht, ihr geradezu entgegengesetzt ist. Bis jetzt sind mir als solche die Chloride der alkalischen Erden bekannt. Chlorcalcium habe ich specieller untersucht, und sollen die Versuche hier gleich folgen. Wie in den früheren Versuchsreihen, werde ich auch hier die zum Wasser übergetretenen Salzmengen für alle Concentrationen auf 10% berechnen.

III. Versuchsreihe. Chlorcalcium.

In der Röhre 10 CC Lösung; im Cylinder 60 CC Wasser; Versuchsdauer 1 Stunde; Temperatur 20° C. (Die Membran ist dieselbe, welche zur Versuchsreihe I. Cap. Durchgangsfähigkeit benutzt wurde.)

1. Lösung von 6 % (in 100 CC 6 Gr.)

In der Röhre zu Anf. des Versuchs	10 CC Lösung	mit 0,5916 Gr. CaCl	
— — — nach 1 Stunde	weniger als 10 CC	mit 0,2417 — —	
Uebergetreten in den Cylinder		0,3499 — —	

2. Lösung von 8 %.

In der Röhre zu Anf. des Versuchs	10,0 CC Lösung	mit 0,8301 Gr. CaCl	
— — — nach 1 Stunde	10,0 CC	— — 0,3705 — —	
Uebergetreten in den Cylinder		0,4596 — —	

3. Lösung von 10 %.

In der Röhre zu Anf. des Versuchs	10,0 CC Lösung	mit 1,0944 Gr. CaCl	
— — — nach 1 Stunde	10,5 CC	— — 0,5043 — —	
Uebergetreten in den Cylinder		0,5901 — —	

4. Lösung von 14 %.

In der Röhre zu Anfang des Versuchs	10,0 CC
— — — nach 1 Stunde	11,1 —

Auf 10 % berechnet und Volumverhältnisse.

1.	(6 %)	0,592 Gr.	Volumabnahme der Lösung.
2.	(8 %)	0,554 —	Volum fast unverändert.
3.	(10 %)	0,531 —	Volumzunahme der Lösung 0,5 CC.
4.	(14 %)	—	Volumzunahme der Lösung 1,1 CC.

Also entgegengesetzt den früheren Beobachtungen nimmt hier das endosmotische Aequivalent mit der Concentration ab und die Diffusionsschnelligkeit wird um so größer, als die Lösung an Concentration abnimmt. Wodurch diese ganz eigenthümlichen Erscheinungen hervorgerufen werden, weiß ich bis jetzt noch nicht, ja ich ahne es nicht einmal; so viel steht aber fest, daß sie die für die meisten andern Stoffe erkannten Diffusionsgesetze nicht umstoßen; es muß jedenfalls durch Chlorcalcium und die ihm diffusionsverwandten Stoffe eine eigenthümliche Wirkung auf die Membran stattfinden. Umfassende Untersuchungen werden uns bald Aufschluß darüber geben.

Bei thierischen Membranen ist Aehnliches gefunden worden. Dutrochet sah bei Weinsteinsäurelösung, wenn sie durch eine Membran sich mit Wasser mischte, die Volumina unverändert bleiben bei 11 %, über 11 %

das Volum der Lösung zunehmen, unter 11 % das Volum der Lösung abnehmen. Aehnlich verhielten sich Schwefel- und Citronsäure.

Versuche von Vierordt[1]) deuten darauf hin, daß aus verdünnteren Kochsalzlösungen im Vergleich mit concentrirteren mehr Kochsalz zum Wasser geht, als die Proportionalität verlangt, grade so wie beim Chlorcalcium. Die Resultate aller Concentrationen auf 10 % berechnet, giebt folgende Zahlen (d. h. die aus 100 CC Kochsalzlösung in 5 Stunden in 100 CC Wasser diffundirten Salzmengen auf 10 % berechnet):

Erste Membran		Zweite Membran	
Lösung von 10 %	1,20 Gr.	Lösung von 15,9 %	1,10 Gr.
— — 12,6 %	1,39 —	— — 13,9 %	1,02 —
— — 18,2 %	1,04 —	— — 30,2 %	0,97 —
— — 21,9 %	1,05 —	— — 34,1 %	0,97 —

Genau sind diese Zahlen nicht zu nennen, was indeß bei thierischen Häuten auch nicht möglich ist, sie zeigen doch das besprochene Verhältniß deutlich.

Ludwig[2]) fand das endosmotische Aequivalent des Kochsalzes mit der Concentration steigen. Einige Versuche mit Chlorammonium in meinem Apparate, also bei der Collodiummembran, machen für dieses Salz Aehnliches wahrscheinlich; die Versuche sind indeß so sehr genau nicht, um sie als entscheidend betrachten zu können. Ich fand die Volumzunahme auf Ein Gramm des zum Wasser übergetretenen Salzes bei 15 % 0,7 CC und bei 7,5 % 0,5 CC. Vielleicht gehören alle Chloride zur letzten Classe.

Wenn die allgemeinen Gesetze über die Gestaltung der Membrandiffusion hinsichtlich des Einflusses der Concentration so sehr differiren bei den verschiedenen Forschern, so hat Das seinen natürlichen Grund darin, daß sie die Erscheinungen, welche sie bei einem gewissen Stoffe fanden, gleich als allgemeines Gesetz für alle Stoffe ansahen, ohne vorher die Sache vielseitig zu prüfen.

---

[1]) Wagner's Handwörterbuch der Physiologie B. III. Abth. 1, S. 641—646.

[2]) Poggendorf's Annalen, Band 78 und Henle und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medicin, Band 8.

Durchgangsfähigkeit.

Die Anziehung der Membransubstanz zu den gelösten Stoffen ist verschieden, der eine wird mehr, der andere weniger stark angezogen; der stärker angezogene wird sich leichter und schneller, der schwächer angezogene weniger leicht und weniger schnell durch die Membran hindurch bewegen. Der Grad der Anziehung bedingt die Durchgangsfähigkeit eines Stoffes. Um die Durchgangsfähigkeit für eine Reihe Stoffe zu bestimmen, muß ich ihre endosmotischen Aequivalente oder die Volumzunahme auf Ein Theil des zum Wasser gehenden gelösten Stoffes feststellen; je größer das endosmotische Aequivalent ist, um so geringer ist die Anziehung. Ich habe eine große Reihe von Stoffen auf ihre Durchgangsfähigkeit untersucht, indem ich Lösungen von gleicher Concentration und unter sonst gleichen Bedingungen sich mit Wasser mischen ließ, die zum Wasser gehenden Mengen des gelösten Stoffes und die Volumzunahme bestimmte. Die Concentration meiner Lösungen war nahe 10 %. Es hielt schwer, Lösungen von ganz gleichem Procentgehalte darzustellen; ich habe deshalb die Resultate auf 10 % berechnet, und kann man die Zahlen für 10 % als absolute Werthe nehmen, weil die wirklich gefundenen Procentgehalte nur äußerst wenig von 10 % abweichen, kohlensaures Ammoniak ausgenommen. In der letzten Columne findet man die Volumzunahme auf Ein Gramm des zum Wasser übergetretenen Stoffes berechnet.

I. Versuchsreihe.

Membran mit 1 Millimeter dicker Wand.

In der Röhre 10 CC Lösung; im Cylinder 60 CC Wasser; Versuchsdauer eine Stunde; Temperatur 20° C.

Nr.	Name des gelösten Stoffes	In 10 CC der Lösung der Röhre zu Anfang des Versuchs sind enthalten	In 1 Stunde zum Wasser im Cylinder übergetreten	Volumzunahme der Lösung in der Röhre in 1 Stunde	Zum Wasser übergetretene Menge auf 10% berechnet	Volumzunahme auf 1 Gramm berechnet
1.	Chlorwasserstoffsäure	1,0141 Gr. ClH	0,7884 Gr. ClH	1,6 CC	0,777 Gr.	2,0 CC
2.	Salpetersäure	0,9987 — NO_5	0,7326 — NO_5	1,6 —	0,734 —	2,2 —
3.	Schwefelsäure	1,0038 — SO_3	0,6025 — SO_3	2,3 —	0,600 —	3,8 —
4.	Oxalsäure	0,9938 — $\bar{O}$	0,4723 — $\bar{O}$	2,2 —	0,475 —	4,7 —
5.	Essigsäure	1,0232 — $\bar{A}$	0,4783 — $\bar{A}$	1,8 —	0,467 —	3,8 —
6.	Phosphorsäure	0,9251 — PO_5	0,3523 — PO_5	2,7 —	0,381 —	7,7 —
7.	Salpetersaures Ammoniak	0,8850 — NH_4O, NO_5	0,5954 — NH_4O, NO_5	0,0 —	0,673 —	0,0 —
8.	Chlorammonium	0,9954 — NH_4 Cl	0,6592 — NH_4 Cl	0,5 —	0,663 —	0,8 —
9.	Schwefelsaures Ammoniak	1,0124 — NH_4O, SO_3	0,5200 — NH_4O, SO_3	1,8 —	0,514 —	3,5 —
10.	Kohlensaures Ammoniak	0,8736 — NH_4O, CO_2	0,4030 — NH_4O, CO_2	1,7 —	0,461 —	4,2 —
(8.)	Chlorammonium	Nr. 8	Nr. 8	Nr. 8	0,663 —	0,8 —
11.	Chlorkalium	0,9774 — K Cl	0,6218 — K Cl	0,6 —	0,636 —	1,0 —
12.	Chlornatrium	0,9712 — Na Cl	0,5924 — Na Cl	0,8 —	0,610 —	1,4 —
13.	Chlorbaryum	0,9582 — Ba Cl	0,5375 — Ba Cl	—	0,561 —	—
14.	Chlorcalcium	1,0944 — Ca Cl	0,5901 — Ca Cl	0,5 —	0,531 —	0,8 —

II. Versuchsreihe.

Membranwand dünner als bei I.

In der Röhre 10 CC Lösung; im Cylinder 60 CC Wasser; Versuchsdauer 1 Stunde; Temperatur 20° C.

Nr.	Name des gelösten Stoffes	In 10 CC Lösung der Röhre des Versuchs sind enthalten	In 1 Stunde zum Wasser im Cylinder übergetreten	Volumzunahme der Lösung in der Röhre in 1 Stunde	Zum Wasser übergetretene Menge auf 10% berechnet	Volumzunahme auf 1 Gramm berechnet
1.	Chlorwasserstoffsäure	0,9866 Gr. Cl H	0,7959 Gr. Cl H	1,5 CC	0,807 Gr.	1,9 CC
2.	Salpetersäure	0,9871 — NO_5	0,7949 — NO_5	1,6 —	0,805 —	2,0 —
3.	Schwefelsäure	0,9912 — SO_3	0,7312 — SO_3	2,4 —	0,737 —	3,3 —
4.	Oxalsäure	0,9945 — $\bar{O}$	0,6518 — $\bar{O}$	2,2 —	0,655 —	3,4 —
5.	Essigsäure	1,0281 — $\bar{A}$	0,6349 — $\bar{A}$	1,8 —	0,617 —	—
6.	Salpetersaures Ammoniak	0,8880 — NH_4O, NO_5	0,6944 — NH_4O, NO_5	0,0 —	0,782 —	0,0 —
7.	Chlorammonium	0,9912 — NH_4 Cl	0,7774 — NH_4 Cl	0,4 —	0,784 —	0,5 —
8.	Schwefelsaures Ammoniak	0,9979 — NH_4O, SO_3	0,6593 — NH_4O, SO_3	2,1 —	0,661 —	3,2 —
	III. Aus einer 3. Versuchsreihe.					
1.	Chlornatrium				0,759 —	—
2.	Schwefelsaures Natron				0,601 —	—
	IV. Aus einer 4. Versuchsreihe.					
1.	Kohlensaures Kali				0,499 —	5,4 —
2.	Kohlensaures Natron				0,390 —	9,5 —

Die zum Wasser gehende Menge gelösten Stoffes ist bei der Membrandiffusion bedingt erstens von der Anziehung des gelösten Stoffes zum Wasser und zweitens von seiner Anziehung zur Membransubstanz; die für 10 % gefundene und berechnete Zahl ist mithin die Resultirende aus den beiden Anziehungen. Aus der Chemie ist bekannt, daß die Säuren eine größere Anziehung zum Wasser haben als die Salze; ihre Durchgangsfähigkeit indeß ist weit geringer als die der letzteren, wie aus der letzten Columne hervorgeht. Die größere Anziehung der Säure zum Wasser verursacht, daß bei unsern Versuchen von der Säure mehr zum Wasser geht als von dem Salz, welches dieselbe Säure enthält. Die Zahlen in der vorletzten Columne sind numerische Ausdrücke für die Geschwindigkeit der Diffusion durch Membrane, welche, wie gesagt, aus der Anziehung des gelösten Stoffes zum Wasser und zur Membransubstanz hervorgeht. Aus diesen Zahlen geht hervor, daß die Säuren, trotz der geringeren Durchgangsfähigkeit schneller diffundiren durch Membrane als Salze, wenigstens gilt dies für das Salz und die Säure, welche es enthält, salpetersaures Ammoniak und Salpetersäure u. s. w. Die Diffusionsschnelligkeit ist für eine Reihe Säuren sehr verschieden, nach unsren Versuchen für Chlorwasserstoffsäure am stärksten, für Phosphorsäure am schwächsten. Die Natur der Säuren tritt bei den Salzen wieder hervor: die Salze der Salpetersäure und des Chlors sind wenig verschieden; die übrigen verhalten sich wie die Säuren. Wenn man die Salze nach der Natur ihrer Basen vergleicht, so haben die Ammoniumsalze die größte Diffusionsgeschwindigkeit bei der Membrandiffusion, die Calciumsalze die geringste.

Wie sich die Anziehung der Membransubstanz zu den gelösten Stoffen verhält, ersieht man aus der letzten Columne, welche übrigens keines Commentars bedarf.

Eine Scale für die Diffusionsgeschwindigkeit bei der Membrandiffusion und für die Anziehung der Membransubstanz zum gelösten Stoff oder für das endosmotische Aequivalent würde sich folgendermaßen gestalten, wenn von oben nach unten die Diffusionsgeschwindigkeit ab-, das endosmotische Aequivalent von oben nach unten z u n i m m t. Welche Stellung die endosmotischen Aequivalente der alkalischen Erden in der letzten Reihe einnehmen, läßt sich mit Gewißheit noch nicht bestimmen; es müssen erst die bei ihnen obwaltenden Eigenthümlichkeiten aufgeklärt werden.

I. Für Säuren.

Chlorwasserstoffsäure,
Salpetersäure,

Schwefelsäure,
Oxalsäure,
Essigsäure,
Phosphorsäure,
Kohlensäure.

II. Für Salze nach der Natur ihrer Säuren.

Salpetersaure Salze,
Chlormetalle,
Schwefelsaure Salze,
Oxalsaure Salze,
Essigsaure Salze,
Phosphorsaure Salze,
Kohlensaure Salze.

III. Für Salze nach der Natur ihrer Base.

Salze von Ammonium,
Salze von Kalium,
Salze von Natrium,
Salze von Magnesium (?)
Salze von Baryum,
Salze von Calcium.

Die Reihe II. ist nach den Ammoniaksalzen, die Reihe III. nach den Chlorverbindungen der Basen aufgestellt; die Reihen würden sich jedenfalls in Bezug auf II. für Salze mit andren Basen z. B. für eine Reihe Kalisalze und in Bezug auf III. für Salze mit andren Säuren z. B. für eine Reihe schwefelsaurer Salze ebenso gestalten. Versuchsreihe III. und IV. geben einige Belege dafür.

Vergleicht man Versuchsreihe I. und II. mit einander, so fällt es gleich auf, daß die Dicke der Membranwand von entschiedenem Einflusse auf die Geschwindigkeit der Membrandiffusion und auf das endosmotische Aequivalent ist. In gleichen Zeiten und aus gleichprocentigen Lösungen ging durch die dickwandigere Membran der Versuchsreihe I. von einem gelösten Stoffe weniger als durch die dünnwandigere Membran der Reihe II. — Chlorwasserstoffsäure 0,777 in der Reihe I., 0,807 Gr. in der Reihe II. u. s. w. — bei jener ist die auf Ein Gramm des zum Wasser übergetretenen gelösten Stoffes berechnete Volumzunahme, also auch das endosmotische Aequivalent, größer als bei dieser — Schwefelsäure bei I. 3,8 CC, bei II. 3,3 CC. —

Die Durchgangsfähigkeit einiger anderer Stoffe.

Die kaustischen Alkalien und die alkalischen Erden haben eine sehr geringe Durchgangsfähigkeit; die ersteren machen die Collodiummembrane aufquellen. Die Durchgangsfähigkeit der Kieselsäure scheint noch geringer zu sein als die der Phosphorsäure und Kohlensäure, wenigstens ließ ein Versuch mit kohlensaurem und kieselsaurem Kali darauf schließen. Von Humussäuren und manchen organischen Farbstoffen, wie Lackmus, geht nichts durch die Membran; sie dringen aber in die Membran ein und setzen sich darin ab, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man eine Collodiummembran mit diesen Stoffen in Berührung bringt. Füllt man eine Membranröhre mit Wasser und hängt sie in Lackmustinctur, so färbt sie sich wol blau, auf das Wasser in der Röhre geht jedoch nichts über. Brachte ich eine mit Wasser gefüllte Membranröhre in einen Brei von Moorerde, welche sauer reagirte, so färbte sich die Membran braun, das Wasser in der Röhre blieb dagegen unverändert.

Ich untersuchte Alkohol, Zucker, Gummi und Eiweiß auf ihre Durchgangsfähigkeit, indem ich die übergetretenen Mengen durch das specifische Gewicht annähernd bestimmte. Von Alkohol geht mehr zum Wasser als von diesem zum Alkohol, das Volum des Alkohols nimmt bei der Membrandiffusion ab. Das endosmotische Aequivalent des Eiweißes ist sehr groß; kleiner ist das des Gummi und Dextrin's, kleiner als das Aequivalent dieser ist das des Zuckers. Eiweiß, Gummi und Dextrin gehen nur äußerst schwer durch die Membran; besonders das Eiweiß, welches sich gleichzeitig in der Membran absetzt, was man deutlich erkennt, wenn man eine längere Zeit mit Eiweiß in Berührung gewesene Membran von äußerlich anhängendem Eiweiß reinigt, sie einige Zeit mit Wasser in Berührung läßt, um das lösliche Eiweiß auszuziehen, und sie darauf mit Salpetersäure und Ammoniak behandelt, wodurch die charakteristische dunkelorange Färbung eintritt. Ich kann hier nicht umhin, einer Eigenthümlichkeit des Eiweißes zu erwähnen, welche bis jetzt noch wenig bekannt zu sein scheint. Wenn man Eiweiß (aus Vogeleiern genommen) mit einer größern Menge Wasser schüttelt, so trübt es sich; ein Theil desselben geht in einen, ich möchte sagen, halbgeronnenen, fadenziehenden, viscosen Zustand über und scheidet sich aus der Lösung ab, jedenfalls eine eigene Modification des Eiweißes bildend. Diese Erscheinung beobachtet man bei jedem Diffusionsversuch, mag die Diffusion

frei oder durch Membrane von Statten gehen. Bei der Membrandiffusion tritt es weit entschiedener hervor, als bei der freien Diffusion und lagert sich dabei eine Schicht dieses viscosen Eiweißes auf diejenige Membranwand ab, welche mit der Eiweißlösung in Berührung steht. Die abgelagerte Schicht ist um so stärker, als die Membranwand dicker ist; es tritt dies recht hübsch hervor, wenn man sich eine Membran darstellt, deren Wand an einer Stelle dick, an der andern dünn ist. Die Ausscheidung des Eiweißes erfolgt nicht, wenn man der Lösung kleine Mengen gewisser Salze zusetzt z. B. kohlensaure Alkalien; wenn ich nicht irre, haben auch salpetersaure und Chloralkalien diese Wirkung. Von kohlensauren Alkalien reicht schon eine äußerst geringe Menge hin. Ob diese Eigenthümlichkeit auch dem pflanzlichen Eiweiß angehört, weiß ich nicht, doch möchte ich es fast glauben, da ich oft beobachtete, daß proteinreiche Zellen (junge Cambiumzellen), wenn ich sie unter dem Mikroscop mit Wasser zusammenbrachte, allmälig eine weiße undurchsichtige Trübung annahmen, grade als wenn ihr Inhalt geronnen sei. Sollte die beobachtete Umwandlung auch bei dem pflanzlichen Eiweiße wirklich vorkommen, so würde sich dadurch mancher physiologische und pathologische Vorgang erklären lassen; es dürfte dann z. B. von wesentlicher Bedeutung sein, in welcher Menge die Verdunstung das Wasser durch die Pflanze führt, weil eine größere Menge mehr Eiweiß abscheidet als eine geringere Menge. Ich werde später auf einige vielleicht hierdurch zu erklärende Beobachtungen aufmerksam machen. [1])

Das Oel mischt sich nicht mit Wasser, beide werden deshalb auch keine Einwirkung aufeinander haben können, wenn sie durch eine Membran getrennt sind. Ist dagegen auf der einen Seite der Membran Oel auf der andern Seite die Lösung eines Salzes, welches chemisch auf Oel einwirkt z. B. kohlensaures Kali, so geht das Salz durch die Membran zum Oel, während das Wasser die Membran nicht verläßt.

---

[1]) Valenciennes und Fremy (Recherches sur la composition des oeufs et des muscles dans la série des animaux. Annales de Phys. et de Chimie, T. 50), fanden in Fischeiern eine der beschriebenen ähnliche Eiweißmodification, welche sie Ichthulin nannten und durch Zusatz einer größeren Menge Wasser zu dem klaren Ei-Inhalte in viscoser Form ausgeschieden wurde.

Diffusion zwischen verschiedenartigen Lösungen.

Haben wir bis jetzt nur das Diffusionsverhalten der Lösung Eines Stoffes gegen Wasser besprochen, so wollen wir auch noch des Verhaltens einer Lösung mehrerer Stoffe gegen Wasser und verschiedenartiger Lösungen gegeneinander gedenken. Unter diesen Verhältnissen ist das Endresultat der Diffusion, wie ich auch früher schon dargethan habe, gar nicht anders, als wenn sich eine Lösung mit Einem Salze mit Wasser mischt; es wird schließlich eine gleichmäßige Vertheilung der gelösten Stoffe auf das Lösungsmittel eingetreten sein. Bei der Membrandiffusion ist es grade so. Enthielt die Röhre meines Apparates 10 CC Lösung mit 0,5 Gramm salpetersaurem Ammoniak und 0,5 Gr. schwefelsaurem Natron, während sich in dem Cylinder 10 CC Wasser befanden, so war schließlich in der Röhre 14 CC, im Cylinder 6 CC und der Procentgehalt an jedem der Salze war in der Röhre so groß wie in dem Cylinder. Als ich bei einem Versuche mit denselben Salzen und in denselben Mengenverhältnissen nach einer gewissen Dauer des Versuchs, als jedoch die Flüssigkeit in der Röhre noch an Volum zunahm, untersuchte, fand ich das Gleichgewicht des salpetersauren Ammoniaks schon eingetreten; während das schwefelsaure Natron noch aus der Röhre nach dem Cylinder diffundirte. Es war Das ganz natürlich, da jenes Salz sich schneller durch Membrane bewegt als dieses. Wenn überhaupt mehrere Stoffe sich mit Wasser mischen, so wird die Diffussion jener Stoffe, welche eine größere Diffusionsgeschwindigkeit haben, schneller von Statten gehen als die Diffusion derjenigen, welche eine langsamere Diffusionsgeschwindigkeit haben und die Ausgleichung jener wird schneller eintreten als die Ausgleichung dieser. Das endosmotische Aequivalent verhält sich in dem Falle wo gleichzeitig mehrere gelöste Stoffe durch die Membran gehen, etwas anders, als wenn nur Ein Stoff sich mit Wasser mischt: es entspricht dann das endosmotische Aequivalent jedes einzelnen der in der Lösung enthaltenen Stoffe nicht seiner Concentration, sondern der Concentration aller. Die Lösung enthalte z. B. 10% von dem Salze A und 10% des Salzes B, so wird das endosmotische Aequivalent von A nicht 10%, sondern ungefähr 20% entsprechen; ebenso verhält es sich mit dem Aequivalent des Salzes B. Es ist das auch leicht zu begreifen, wenn man bedenkt, daß die Lösung in den Molecularinterstitien weniger Wasser enthält bei einer Lösung von 20% als bei 10%, und daß das endosmotische Aequivalent von den Wasserprocenten der Lösung abhängt.

Ist in der Membranröhre eine Lösung von Chlorkalium, im Cylinder eine Lösung von schwefelsaurem Kali, so mischt sich das Chlorkalium mit dem Wasser in dem Cylinder, das schwefelsaure Kali mit dem Wasser in der Röhre. Beide Salze mischen sich solange mit dem Wasser bis Gleichgewicht eingetreten ist, d. h. bis in der Röhre eine Lösung enthalten ist, die soviel Procente an Chlorkalium und an schwefelsaurem Kali enthält als die Lösung im Cylinder. Die Verhältnisse der Membrandiffusion sind hier grade so, als wenn nur Ein Stoff sich mit Wasser mischt, nur das endosmotische Aequivalent erleidet hier auch die oben angedeutete Umänderung. Auf welcher Seite in einem solchen Falle die Volumzunahme erfolgt, hängt von der Concentration der Lösungen und dem Aequivalente der gelösten Stoffe ab. Der folgende Versuch mit Eiweißlösung und einer Lösung von kohlensaurem Kali kann uns als Beispiel dienen. Im zweiten Versuche ist die Eiweißlösung concentrirter, die Salzlösung verdünnter als im ersten Versuche. Die Salzlösung im ersten Versuche enthielt 10%, im zweiten 4% KO, CO_2.

		Zu Anfang des Versuchs	Nach 1/2 Stunde	Volumzunahme
1.	Im Cylinder	12 CC Lösung mit 1,249 Gr. KO, CO_2	12,7 CC Lösung m. etwas Eiweiß u. 0,974 KO, CO_2	0,7 CC
	In der Röhre	10 CC Eiweißlösung	9,3 CC Eiweißlösung mit 0,275 Gr. KO, CO_2	
2.	Im Cylinder	20 CC Lösung mit 0,8058 gr. KO, CO_2	19,9 CC Lösung mit etwas Eiw. u. 0,7 Gr. KO, CO_2	
	In der Röhre	10 CC Eiweißlösung	10,1 CC Eiweißlösung mit 0,1058 Gr. KO, CO_2	0,1 CC

Das Eiweiß der Röhre mischt sich mit dem Wasser im Cylinder und das kohlensaure Kali im Cylinder mit dem Wasser der Eiweißlösung in der Röhre; im ersten Versuche trat gegen das kohlensaure Kali mehr Wasser aus der Röhre aus, als gegen das Eiweiß aus dem Cylinder in die Röhre Wasser eintrat, und das Resultat war eine Volumzunahme der Salzlösung; im zweiten Versuche, wo die Eiweißlösung concentrirter, die Salzlösung aber verdünnter war als im ersten Versuche, trat gegen das Eiweiß mehr Wasser in die Röhre ein, als aus ihr Wasser gegen das kohlensaure Kali in den Cylinder ging, wodurch eine Volumzunahme der Eiweißlösung hervorgerufen wurde.

Wenn zwei Lösungen sich gegenseitig durch eine Membran mischen, so kann auch der Fall eintreten, daß die gelösten Stoffe sich gegenseitig zersetzen. Die Zersetzung erfolgt in der Regel auf der Seite desjenigen Stoffes, welcher die geringste Durchgangsfähigkeit besitzt. Es sei zum Beispiel in der Membranröhre meines Apparates Chlorcalcium, im Cylinder oxalsaures Ammoniak, so erfolgt die Zersetzung in der Membranröhre. Es tritt aus dem Cylinder oxalsaures Ammoniak in die Röhre ein, Dies setzt sich mit dem Chlorcalcium in Chlorammonium und oxalsauren Kalk um; das Chlorammonium geht aus der Röhre in den Cylinder, um sich mit dem Wasser in letzterem in Gleichgewicht zu setzen; der oxalsaure Kalk, weil er unlöslich ist, wird ausgeschieden. Solange als die Lösung im Cylinder noch oxalsaures Ammoniak enthält, kann kein Chlorcalcium aus der Röhre austreten. Wären die neugebildeten Salze beide löslich, so würden sie beide auch gleichzeitig nach der andern Seite diffundiren.

Wenn ein Stoff ausgeschieden wird, so erfolgt die Ausscheidung in der Regel auf derjenigen Seite, auf welcher sich der am wenigsten durchgangfähige Stoff befindet; so bei Chlorcalcium und oxalsaurem Ammoniak auf der Seite des ersten.

Bringt man in den Cylinder eine Lösung der Oxalsäure und in die Röhre Wasser, so diffundirt die Oxalsäure so lange in die Röhre bis beiderseits eine gleichprocentige Lösung vorhanden ist. Wirft man nun, nachdem nämlich Gleichgewicht eingetreten ist, ein Stückchen kohlensauren Kalk in die Röhre, so wird sofort oxalsaurer Kalk gebildet und ausgeschieden; die Lösung in der Röhre wird in Bezug auf Oxalsäure minder concentrirt als die Lösung außerhalb, und es treten neue Mengen Oxalsäure in die Röhre ein, um das Gleichgewicht wieder herzustellen. So lange wie in der Röhre Oxalsäure ausgeschieden wird, so lange treten neue Mengen aus der äußern Lösung ein; die Oxalsäure häuft sich dann in der Röhre an. Ist in der Röhre eine genügende Menge kohlensaurer Kalk, so wird alle in der äußern Lösung befindliche Oxalsäure in die Röhre eingeführt und ausgeschieden.

Ist in der Röhre Eiweißlösung, im Cylinder eine Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd, so wird letzteres, weil es durchgangsfähiger als Eiweiß ist, in die Röhre eintreten, sich mit dem Eiweiß zu Kupferalbuminat verbinden und unlöslich ausscheiden. So lange wie in der Röhre freies Eiweiß ist, kann in Bezug auf das schwefelsaure Kupfer zwischen dem Wasser in der Röhre und außerhalb kein Gleichgewicht eintreten, das eintretende Kupfer wird fortwährend ausgeschieden. Wären in der Lösung des Cylinders gleiche Procente schwefelsaures Kupfer und schwe-

felsaures Kali, so würde von letzterem nicht mehr in die Röhre eintreten als zur Herstellung des Gleichgewichts nöthig ist; dagegen von dem schwefelsauren Kupfer um so mehr, als sich mehr Eiweiß in der Röhre befindet.

Wo überhaupt bei der Membrandiffusion auf der einen Seite der Membran ein gelöster Stoff unlöslich ausgeschieden oder in eine andere chemische Form übergeführt wird, da tritt von der andern Seite der Stoff, welche ausgeschieden oder verwandelt wird, so lange über, als die Ausscheidung oder Umwandlung dauert und Gleichgewicht kann dabei nicht eher eintreten, bis die Ausscheidung oder Umwandlung aufhört.

Geschlossene Membrane.

Ist eine Membran nach allen Seiten hin geschlossen, so findet auch dann noch eine Diffusion Statt, wenn innerhalb und außerhalb derselben sich mischbare Flüssigkeiten befinden. Bringe ich in die früher beschriebene geschlossene Röhre eine Lösung des salpetersauren Ammoniaks und hänge die gefüllte Röhre in einen Cylinder mit Wasser, so tritt das Salz aus der Röhre aus, um sich mit dem äußern Wasser in Gleichgewicht zu setzen, und die Diffusion wird dabei ohne weitere Störung von Statten gehen. Anders hingegen ist es, wenn in der Röhre sich eine Lösung befindet, welche unter Volumzunahme sich mit Wasser mischt. Erleidet die Membran keine Ausdehnung, so kann nicht m e h r Wasser in die Röhre eintreten, als von dem gelösten Stoffe austritt. Der exosmotische Strom ist ungestört; dem endosmotischen Strome stellt sich ein Hinderniß entgegen, nämlich die Membran. Die Anziehung des gelösten Stoffes in der Röhre zu dem Wasser in den Molecularinterstitien ist so stark, daß so lange noch Wasser in die Röhre eintritt, als dieselbe, wenn sie einen gewissen Grad von Elasticität besitzt, sich auszudehnen vermag. Eine auf diese Weise ausgedehnte elastische Membran ist in einen Zustand von Spannung versetzt und muß deshalb drückend gegen die Flüssigkeit in ihrem Innern wirken, wodurch der exosmotische Strom verstärkt wird. Der folgende Versuch mit verdünnter Schwefelsäure wird uns Dies ausführlich zeigen. Bei dem ersten Versuche war der Apparat wie gewöhnlich; im zweiten wurde die Membranröhre aus dem ersten Versuche auf die früher beschriebene Weise geschlossen; bei beiden Versuchen war in der Röhre 10 CC verdünnte Schwefelsäure von 10 % SO_3; im Cylinder 60 CC Wasser; Versuchsdauer 1 Stunde; Temperatur 20° C.

1. Mit freien Strömungen:

In der Röhre zu Anf. d. Versuchs 10,0 CC Säure mit 1,0038 Gr. SO_3
— — — nach 1 Stunde 12,3 CC — — 0,4013 — —
Zu dem Wasser im Cylinder übergetreten . . . . 0,6025 — —
Volumzunahme in der Röhre 2,32 CC.
Uebergetreten in den Cylinder 0,6025 Gr. = 0,3058 CC SO_3.

2. Mit gehinderter endosmotischer Strömung:

In der Röhre zu Anf. d. Versuchs 10,0 CC Säure mit 1,0038 Gr. SO_3
— — — nach 1 Stunde 10,2 CC — — 0,3256 — —
Zu dem Wasser im Cylinder übergetreten . . . . 0,6782 — —
Volumzunahme in der Röhre 0,2 CC.
Uebergetreten in den Cylinder 0,6782 Gr. = 0,3443 CC SO_3.
Im 1. Vers. trat in die Röhre ein 0,3058 CC + 2,3 CC = 2,6058 CC Wasser
— 2. — — — — — — 0,3443 CC + 0,2 CC = 0,5443 CC —

Wäre die Membran gar keiner Ausdehnung fähig gewesen, so hätte im 2. Versuche nur 0,3443 CC Wasser eintreten können, nämlich so viel, als an Schwefelsäure austrat; die Membran erlitt indessen eine Ausdehnung, die 0,2 CC entsprach. Bei dem 2. Versuche sind 0,076 Gr. SO_3 mehr aus der Röhre ausgetreten, als im 1. Versuche, was theils in dem Drucke der gespannten Membran, theils in dem Umstande beruht, daß im Verlaufe des zweiten Versuches die Flüssigkeit in der Röhre nicht so stark und nicht so schnell verdünnt wurde als im 1. Versuche; in jenem wurde in einer Stunde die Säure nur durch 0,5 CC Wasser verdünnt, während sie in diesem in derselben Zeit durch 2,6 CC Wasser verdünnt wurde.

Wie hier die Schwefelsäure, so verhalten sich alle Stoffe, welche sich unter Volumzunahme mit Wasser mischen, bei geschlossenen Membranen; ist die Membran elastisch, so wird sie ausgedehnt und wirkt im gespannten Zustande verstärkend auf den exosmotischen Strom — Erscheinungen, welche in den physiologischen Processen des Thierkörpers und der Pflanze eine sehr wichtige Rolle spielen.

Besonders mächtig wirken die eiweißartigen Stoffe, die viel Wasser in die Membranröhre einführen und die Membran in starke Spannung versetzen; wodurch indeß auch im exosmotischen Strome mehr Eiweiß austritt, gleichsam herausgepreßt wird, als dies unter gewöhnlichen Verhältnissen geschieht.

Befindet sich eine mit Wasser gefüllte geschlossene Membran in der Lösung eines Stoffes, bei dessen Diffusion eine Volumzunahme eintritt, oder befinden sich in geschlossenen Membranen und außerhalb derselben

Lösungen, bei deren Diffusion die Volumzunahme in die äußere Lösung fällt, so nimmt das Volum der Flüssigkeit in der Membran ab, die Membran fällt zusammen.

Verdunstung.

Wenn eine geschlossene, mit irgend einer Lösung gefüllte Membran sich in der Luft befindet, so verdunsten Wasser und andere flüchtige Stoffe aus ihr fort, die nicht flüchtigen Stoffe bleiben in ihr zurück. Es ist dieser Vorgang gar nicht anders, als wenn Wasser in freier Oberfläche mit der Luft in Berührung kommt: die Wassermolecüle in den oberflächlichsten Molecularinterstitien der Membran nehmen Dampfform an, gehen aus denselben fort und werden von innen her wieder ersetzt. Umschließt die Membran eine Lösung, so tritt diese in die Molecularinterstitien ein, das Wasser verdunstet und die dadurch concentrirter gewordene Lösung gleicht sich mit der minder concentrirteren Lösung in der Röhre wieder aus; es geht also eine Strömung des gelösten Stoffes aus den Molecularinterstitien der Membran nach der Lösung in der Membranröhre. Die Verdunstungsgeschwindigkeit ist verschieden. Ich untersuchte dieselbe, indem ich die aus einem eigens dazu construirten Apparate bei derselben Membran, derselben Temperatur, bei möglichst gleichem Luftdrucke und bei gleicher Versuchsdauer verdunstenden Wassermengen bestimmte. Im Allgemeinen fand ich, daß die Verdunstungsgeschwindigkeit der Lösungen ein und desselben Stoffes um so größer wird, als die Lösung an Concentration abnimmt, d. h. daß unter den angegebenen Bedingungen eine um so größere Menge Wasser verdunstet, als die Lösung mehr Wasser enthält; die Verdunstungsgeschwindigkeit ist annähernd proportional den Wasserprocenten der Lösungen. Wenn ich auch bei den Salzen mancher Basen fand, daß ihre Verdunstungsgeschwindigkeit mit der Durchgangsfähigkeit in gradem Verhältniß stand, daß z. B. eine Lösung des salpetersauren Kalis schneller verdunstete, als eine gleichprocentige Lösung des schwefelsauren und kohlensauren Kalis: so konnte ich doch nichts Allgemeingesetzliches den Versuchen ableiten; besonders sehr abweichend zeigten sich die Säuren.

Habe ich eine mit Salzlösung gefüllte und geschlossene Membranröhre so in Wasser gehängt, daß ein Theil der Röhre mit der Luft in Berührung ist und verdunstet, während der andere Theil Wasser in die Röhre einführt, so kann das verdunstete Wasser wieder ersetzt werden. Ist innerhalb und außerhalb der Membran eine gleichprocentige Lösung

und verdunstet aus der Membran Wasser, so wird dadurch die Lösung in der Röhre concentrirter und, um das Gleichgewicht zwischen innerer und äußerer Lösung wieder herzustellen, treten neue Mengen Wasser in die Membran ein; bei fortwährender Verdunstung concentrirt sich auch die Lösung außerhalb der Membran, wenn derselben das durch die Membran verdunstende Wasser nicht ersetzt wird, und neue Mengen Salz treten in die Membran ein, so daß das Gleichgewicht innerhalb und außerhalb immer bestehen bleibt. Auf diese Weise kann die äußere Lösung ganz in die Membranröhre eingeführt werden; der gelöste Stoff häuft sich natürlich dabei in der Membranröhre an. Anders dagegen verhält es sich, wenn das durch die Membran verdunstende Wasser fortwährend der äußern Lösung ersetzt wird. Hatte ich in der Membran und außerhalb eine Lösung von schwefelsaurem Ammoniak von 10%, hing die Membranröhre so tief in der äußeren Lösung, daß Verdunstung und Diffusion sich das Gleichgewicht hielten, und wurde so viel Wasser, als durch die Membran fortging, der äußern Flüssigkeit zugesetzt, und darin das Salz durch Umrühren fortwährend gleichmäßig vertheilt: so zeigte die Lösung in der Membranröhre und außerhalb immer 10%; mochten auch viele Cubikcentimeter Wasser durch die Membran verdunsten, die Concentration der Lösungen änderte sich nicht, es wurde kein Salz in die Membranröhre von außen eingeführt. Bei den meisten Versuchen befand sich die äußere Lösung in einem Cylinder, welcher mit einem Tropfglase in Verbindung stand; sank das Flüssigkeitsniveau im Cylinder, so floß aus dem Tropfglase wieder Wasser zu, so daß das Niveau fast vollständig gleich blieb. Dieser Versuch ist als Fundamentalbeweis für die später zu entwickelnde Verdunstungstheorie bei der Pflanze und für die Unrichtigkeit der heute noch gangbaren Theorie dieser Sache zu betrachten.

Aeromembrandiffusion.

Ich habe früher schon angedeutet, daß Wasser gasige Stoffe der Atmosphäre zu entziehen vermag, und daß die vom Wasser einmal aufgenommenen, gelösten Stoffe nach denselben Gesetzen diffundiren, wie gelöste nichtflüchtige Stoffe. Die Menge des Gases, welche das Wasser auflöst, ist nach seiner chemischen Natur und der Temperatur verschieden. So nimmt das Wasser 0,037 seines Volums Sauerstoff und 0,018 seines Volums Stickstoff auf, wodurch es kommt, daß die Luft im Wasser aus 34,9 O und 65,1 N besteht und nicht wie in der atmosphärischen Luft

aus 20,9 O und 79,1 N. An Kohlensäure löst ein Volum Wasser bei 15° C. ein gleiches, bei 4° jedoch 1,5 Volum; an Ammoniak ein 500faches Volum u. s. w. Je höher die Temperatur ist, umsoweniger von einem Gase vermag das Wasser gelöst zu erhalten. Durch Kochen lassen sich alle gasförmigen Stoffe aus dem Wasser austreiben. Wenn das Wasser in den Molecularinterstitien einer permeablen Membran mit Gasen in Berührung kommt, so findet ganz derselbe Vorgang Statt: das Gas wird von dem Wasser gelöst und diffundirt aus den Molecularinterstitien in das Wasser, welches von der Membran umschlossen wird. Man kann Dies sehr schön beobachten, wenn man eine etwas weite Glasröhre in einen durchbohrten Kork steckt, das eine Ende mit einer Collodiummembran verschließt, sie dann mit Kalkwasser füllt und den Kork so auf einen mit Kohlensäure gefüllten Cylinder legt, daß die Membran sich in dem Cylinder befindet. Man sieht, wie, besonders in der ersten Zeit des Versuchs, die Kohlensäure eine weiße, aus kohlensaurem Kalk bestehende Wolke bildend, in der Mitte der Röhre aufsteigt. Um die Menge Gas, welche ein gewisses Volum Wasser durch Membrane aufnimmt, zu bestimmen, schloß ich eine weite, einige Zoll lange Glasröhre an dem einen Ende mit Collodiummembran, an dem andern Ende mit einem zweimal durchbohrten Korke. Die beiden Durchbohrungen enthielten Glasröhrchen, das eine zum Füllen der Röhre, das andere zum Entweichen der Luft während des Füllens bestimmt; beide wurden nach der Füllung durch kleine Korke geschlossen. Die Röhre, wenn sie mit Wasser gefüllt war, wurde, die Membran nach oben gerichtet, in einen großen, mit dem zu untersuchenden Gase gefüllten Cylinder auf den Boden gesenkt und hierauf der Cylinder mit einer Glasplatte von der äußern Luft abgeschlossen. In allen Fällen war der gasige Stoff durch die Membran zum Wasser übergetreten; die aufgenommene Menge eines Gases war um so größer, als sein Lösungscoefficient größer ist; so wurden bedeutende Mengen von Ammoniak und Schwefelwasserstoff aufgenommen, dagegen viel geringere Mengen von Kohlensäure. Ich sah das Wasser noch Ammoniak aufnehmen aus einer Atmosphäre, die kaum reagirende Mengen davon enthielt. Die mit wässrigen Flüssigkeiten gefüllten permeablen Membrane (in der Natur Zellen) haben also das Vermögen, der Atmosphäre gasige Stoffe zu entziehen.

Füllte ich die beschriebene Röhre mit einem Wasser, welches irgend ein Gas aufgelöst enthielt, und brachte sie in einen Cylinder, dessen Atmosphäre frei von dem im Wasser gelösten Gase war, so bemerkte ich bei manchen Gasen und unter gewissen Umständen, daß sie durch die

Membran in die Atmosphäre entwichen. Ich schloß bei diesen Versuchen den Cylinder mit einem Korke, unter welchem ich vermittelst Drath ein Schälchen befestigte, welches zur Aufnahme einer das Gas chemisch-bindenden Flüssigkeit bestimmt war. Kohlensäurehaltiges Wasser, welches bei einer viel höheren Temperatur, als im Cylinder während des Versuchs herrschte, gesättigt war, gab keine Kohlensäure ab, wenigstens nahm Kalkwasser im Schälchen nichts davon auf. Wohl geschah Das aber bei Ammoniak und Schwefelwasserstoff bei nicht allzugeringer Concentration; Ammoniakwasser in äußerst geringer Concentration ließ kein Entweichen von Ammoniak bemerken. Es läßt sich mithin annehmen, daß auch geringe Mengen Ammoniak, einmal vom Wasser absorbirt, so stark gebunden werden, daß sie aus ihm und durch permeable Membrane bei unsern gewöhnlichen Temperaturgraden nicht entweichen.

Es sei der Vollständigkeit halber noch der reinen Aerodiffusion durch permeable Häute gedacht. Gleichwie zwei chemisch-verschiedene Flüssigkeiten z. B. Alkohol und Wasser, wenn sie durch eine permeable Membran getrennt sind, sich bis zur Ausgleichung miteinander durch die Membran mischen, so mischen sich auch zwei chemisch-verschiedene Gase. Enthält eine geschlossene permeable Membran, ein Collodiumballon z. B., Kohlensäure, so tritt die Kohlensäure in die atmosphärische Luft aus, während Sauerstoff und Stickstoff in die Membran eindringt. Ueber die Gestaltung der Aerodiffusion ist bis jetzt wenig bekannt.

Einfluß der Wärme auf die Diffusion.

Daß die Wärme von großem Einfluß auf die Diffusion sei, wurde von allen Forschern angenommen; doch ist bis jetzt wenig Experimentelles darüber geliefert worden. Meine Versuche beziehen sich nur auf jene Stoffe, welche in ihrem Diffusionsverhalten gleich sind der Oxalsäure, und auf Eiweiß. Ich untersuchte Oxalsäure, schwefelsaures Ammoniak und phosphorsaures Kali, und will ich die Versuchsreihe mit Oxalsäure, weil sie die genaueste ist, hier mittheilen. Der Apparat, mit welchem die Versuche ausgeführt wurden, ist der bei den früher mitgetheilten Versuchen benutzte. Die Temperaturangaben beziehen sich auf das Wasser in dem Gefäße, worin der Cylinder stand. Der Versuch wurde nicht eher begonnen, als bis das Wasser im Cylinder die Temperatur des ihn umgebenden Wassers angenommen hatte.

Oxalsäurelösung von 6,3 % Ō

In der Röhre 10 CC Lösung; im Cylinder 60 CC Wasser; Versuchsdauer 1 Stunde.

1. Temperatur 13° C.

In der Röhre zu Anf. des Versuchs	10,0 CC Lösung mit	0,6300 Gr.	Ō
— — — nach 1 Stunde	11,8 — — —	0,2079 —	—
Uebergetreten in den Cylinder		0,4221 —	—

Volumzunahme auf 1 Gr. der zum Wasser gegangenen Säure 4,26 CC.

2. Temperatur 20° C.

In der Röhre zu Anf. des Versuchs	10,0 CC Lösung mit	0,6300 Gr.	Ō
— — — nach 1 Stunde	12,0 — — —	0,1896 —	—
Uebergetreten in den Cylinder		0,4404 —	—

Volumzunahme auf 1 Gr. der zum Wasser gegangenen Säure 4,54 CC.

3. Temperatur 32°—33° C.

In der Röhre zu Anf. des Versuchs	10,0 CC Lösung mit	0,6300 Gr.	Ō
— — — nach 1 Stunde	12,5 — — —	0,1651 —	—
Uebergetreten in den Cylinder		0,4649 —	—

Volumzunahme auf 1 Gr. der zum Wasser gegangenen Säure 5,38 CC.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß, wenn die Temperatur steigt, die Durchgangsfähigkeit zunimmt und das endosmotische Aequivalent größer wird. Die erstere Erscheinung kann ebensowol in einem Stärkerwerden der Anziehung der Oxalsäure zum Wasser, als in einer Abnahme der Dichtigkeit der Membrane selbst, wodurch die durchdringenden Molecüle weniger Widerstand finden, begründet sein. Das Größerwerden des endosmotischen Aequivalentes weist darauf hin, daß in dem Verhältniß zwischen der Anziehung der Membransubstanz zum Wasser und der Anziehung der Membransubstanz zum gelösten Stoffe eine Veränderung eintritt. Nehmen wir an, daß die Anziehung der Membransubstanz zum Wasser und zum gelösten Stoffe mit der Temperatur wächst, so geschieht das bei Wasser in einem größeren Grade als bei dem gelösten Stoffe; nur hierdurch kann das Verhalten des endosmotischen Aequivalentes erklärt werden.

Die Temperatur scheint auf alle Stoffe, welche sich bei der Membrandiffusion wie Oxalsäure verhalten, auf die beobachtete Weise zu wirken; wie es sich bei den von der Oxalsäure abweichenden Stoffen, Chlorcalcium u. s. w. verhält, weiß ich nicht.

Ein Versuch mit schwefelsaurem Ammoniak zeigte, daß die Diffusion bei 3° C äußerst gering ist, wenigstens gegen die Diffusion bei 20° C.

Erwähnenswerth ist noch, daß ich bei meinen Versuchen, wo ich die Temperatur der Flüssigkeit in der Röhre und im Cylinder während

der Dauer der Diffusion untersuchte, in der ersteren eine um 2°—4° höhere Temperatur fand als in der letzteren.

Zum Schlusse sei hier noch einiger Versuche mit Eiweiß erwähnt, die von besonderer Bedeutung für die spätere Besprechung des Einflusses der Temperatur auf die Bewegungen in der Pflanze sind. Das Eiweiß war aus Hühnereiern genommen, mit etwas Wasser gut gemischt und die klare Eiweißlösung von der abgeschiedenen unlöslichen Eiweißmodification abfiltrirt.

I. Im Cylinder 60 CC Wasser, in der Röhre 10 CC der Eiweißlösung; Versuchsdauer 2 Stunden. Die Temperaturangaben beziehen sich auf das Wasser, worin der Cylinder stand; im 2. Versuche befand sich der Cylinder in schmelzendem Schnee. Die Versuchsflüssigkeiten wurden vor Beginn des Versuchs auf die Versuchstemperatur gebracht.
1. Temperatur 19°—21° C. Volumzunahme in 2 Stunden 5,1 CC.
2. Temperatur 0° (schmelzender Schnee) Volumzunahme in 2 St. 2,8 —

II. Die Eiweißlösung des vorigen Versuches wurde mit dem gleichen Volum Wasser vermischt; bei dem Untereinandermischen schied sich wieder Eiweiß in der unlöslichen Modification ab, von welchem die klare Eiweißlösung abfiltrirt wurde. Die übrigen Verhältnisse waren wie bei I.
1. Temperatur 19°—21° C. Volumzunahme in 2 Stunden 4,2 CC.
2. Temperatur 0° (schmelz. Schnee) Volumzunahme in 2 St. 2,4 —

In allen Versuchen hatte sich die Eiweißlösung in der Membranröhre durch Bildung der unlöslichen Eiweißmodification getrübt.

Diese Versuche zeigen uns, daß selbst bei einer so niedrigen Temperatur, wo das Wasser dem Gefrierpunkte so nah ist, noch Diffusionsbewegungen stattfinden, und daß dieselben nicht so ganz unbedeutend sind, was für das Leben der Pflanze von großer Bedeutung ist; denn so lange das Wasser nicht erstarrt ist, werden in der Pflanze, in den, eiweißartige Stoffe aufgelöst enthaltenden Zellen, Diffusionsbewegungen zugegen sein, und die Lebensprocesse nicht ganz darniederliegen. Bei den vorliegenden Versuchen ist die zum Wasser übergetretene Eiweißmenge nicht bestimmt, es läßt sich also das endosmotische Aequivalent nicht berechnen, die Menge des durch die Membran gehenden Eiweißes ist so gering, daß wir sie vernachlässigen können und unbedenklich die Volumzunahme als endosmotisches Aequivalent annehmen dürfen. Demnach würde also das endosmotische Aequivalent des Eiweißes nur wenig abnehmen, von 20° bis zu 0° nur um etwa die Hälfte, wodurch das Eiweiß sich wesentlich von mineralischen Stoffen, Salzen und Säuren unterscheidet, bei welchen das endosmotische Aequivalent in einem viel größeren Verhältnisse mit der Temperatur abnimmt. Ich entsinne mich

noch eines Versuches mit Eiweiß, dessen Verhältnisse von vorstehendem Versuche I. kaum verschieden waren und bei 7,5° C eine nur um etwa 0,3 CC kleinere Volumzunahme hatte als bei 20° C. Von den organischen Stoffen dürften nur noch die schleimigen Kohlenhydrate in dieser Beziehung sich dem Eiweiß ähnlich verhalten.

Auffallend war es mir, daß im I. Versuch die Volumzunahme von 20° zu der von 0° sich fast ebenso verhält, wie im II. Versuch.

I. 0° : 20° wie 2,8 : 5,1 = 1 : 1,82 (1:1,8).
II. 0° : 20° wie 2,4 : 4,2 = 1 : 1,75 (1:1,8).

Einfluß der Elektricität und der Schwere auf die Membrandiffusion.

Wenn wir auch über die Einwirkung der Elektricität auf die Membrandiffusion bis jetzt nichts Bestimmtes wissen, so dürfen wir uns doch der Vermuthung hingeben, daß solches wirklich geschieht, umsomehr, als einige Beobachtungen bekannt wurden, die mit Entschiedenheit darauf hindeuten. Ich will zuerst eines Versuches von Fodera Erwähnung thun, der, obgleich wenig correct, doch von Interesse für uns sein muß. Fodera füllte die geöffnete Brusthöhle eines Kaninchens mit Eisenchloridlösung und die Bauchhöhle mit einer Lösung des Blutlaugensalzes; es mischten sich die beiden Flüssigkeiten durch das dicke Zwerchfell hindurch sehr langsam, schneller ging die Mischung aber von Statten, wenn Fodera einen leichten elektrischen Strom durch das Zwerchfell leitete. Wollaston und Porret beobachteten schon vor vielen Jahren eigenthümliche Erscheinungen, wenn sie einen elektrischen Strom durch thierische Membrane gehen ließen. Ich will diese Beobachtung mittheilen, wie sie an dem unten angegebenen Orte[1]) zu lesen ist. „Wollaston und Porret schnitten eine offene Glasschale in zwei senkrechte Hälften, spannten dann über die Schnittränder dünne Thierblasen, so daß beide Hälften zusammengefügt wieder eine ganze Schale mit einem Zwischenrand von Thierblase darstellten; sie kitteten darauf die Ränder mit Siegellack aneinander, füllten dann die eine der Zellen mit Wasser, während sie in die andere Hälfte nur wenige Tropfen brachten, und tauchten nun in die letztre den — E. Drath einer galvanischen Batterie, deren + E. Drath in die volle Hälfte reichte; es wurde dann der Wasserstoff des zerlegten Wassers vom + Pol zum — Pol, und der Sauerstoff

[1]) Kürschner in Wagner's Handwörterbuch der Physiologie, Band I., S. 82 (1842).

vom —Pol zum +Pol durch die Blase hindurch geleitet, auch das Wasser aus der vollen Hälfte des +Pols in die fast leere Hälfte des —Pols, so daß es zuletzt in der letzteren höher stand, als in der ersteren." Diese Anhäufung der Flüssigkeit an der negativen Elektrode wurde später von Wiedemann[1]) und von Breda und Logemann[2]) zum Gegenstande von Untersuchungen gemacht. Aus diesen Erscheinungen geht zur Genüge hervor, daß der elektrische Strom eine Einwirkung auf die Diffusionsströmungen, wenn sie durch Membrane gehen, haben wird. Das Feld dieser Untersuchung wartet noch auf seine Bearbeiter; man wird da gewiß interessante Thatsachen zu Tage fördern.

Wie eigentlich die Schwerkraft auf die Membrandiffusion wirken soll, darüber haben wir bei dem jetzigen Stande unseres Wissens keine Ahnung; wie Humboldt[3]) glaubt, könnte es möglich sein, „daß die Capillaranziehung und die für das Aufsteigen der Säfte und für Thier- und Pflanzenphysiologie so wichtige Endosmose von dem Maaße der Schwere und ihrer localen Vertheilung ebenso afficirt werden, als die elektromagnetischen Processe und der chemische Stoffwechsel." Fick will wirklich so etwas Aehnliches beobachtet haben. Er ließ Kochsalz durch thierische Membrane diffundiren, und zwar ließ er abwechselnd in dem einen Versuche den specifisch schwereren Körper (das Salz) von oben nach unten, im anderen von unten nach oben gehen, so daß also im einen Falle seine Bewegung durch die Schwere unterstützt, im andern durch dieselbe gehemmt werden mußte. Er fand nun zu seiner großen Verwunderung, „daß allemal, wenn das Salz von unten nach oben ging, in derselben Zeit mehr Salz die Scheidewand passirte, als in der umgekehrten Richtung, und daß zweitens das sogenannte endosmotische Aequivalent um beiläufig eine Einheit größer war, wenn die Bewegung des Salzes im Sinne der Schwere geschah." Als Mittel aus 4 gut stimmenden Versuchen ergaben sich die folgenden Zahlen. Auf der einen Seite der Membran reines Wasser, auf der anderen eine vollständig gesättigte Lösung. Wenn das Salz von oben nach unten ging, durchsetzte die Scheidewand in einer Minute 0,00333 (wahrscheinlich Gramm) Salz

---

[1]) Poggendorf's Annalen der Chemie und Physik. Band 99. Ueber die Bewegungen der Flüssigkeiten im Kreise der geschlossenen galvanischen Säule und ihre Beziehungen zur Elektrolyse.

[2]) Ebendaselbst Band 100. Ueber die Fortführung von Flüssigkeiten durch poröse Scheidewände.

[3]) Kosmos Band 4 Seite 17.

und das endosmotische Aequivalent war 6,069; wenn das Salz von unten nach oben ging, wurde die Scheidewand durchsetzt in der Minute von 0,00359 und das endosmotische Aequivalent war 5,088. Welche thierische Membran wurde zu diesen Versuchen verwendet? War es vielleicht eine solche, die aus einer Muskelfaser- und Schleimhautschicht bestand? Im letzteren Falle dürfte wol der Unterschied von „oben nach unten" und „unten nach oben" in der Natur der Membran bedingt sein [1]).

Die Diffusion im Boden.

Die oberste Schicht der Erdoberfläche, welche in Fülle Pflanzen trägt und im gewöhnlichen Leben Boden genannt wird, besteht wesentlich aus zweierlei Stoffen: aus solchen, die ihn bilden d. h. als seine Grundbestandtheile zu betrachten sind, wie Thon, Sand, Kalk, Humus, oryktognostische und geognostische Fragmente, und zweitens aus solchen, welche der Pflanze als Nahrung dienen oder doch das Leben der Pflanze mit bedingen, wie manche anorganische Salze, Wasser und Kohlensäure. Die Salze kommen in löslicher und unlöslicher Form im Boden vor. Wir können demnach die den Boden zusammensetzenden Stoffe in eigentliche Bodenbestandtheile oder Grundbestandtheile des Bodens und in pflanzliche Nahrungsstoffe theilen. Zwar finden wir auch den nackten Felsen mit Pflanzen überzogen, welche aber den niedrigsten pflanzlichen Organisationen angehören; hier ist von einem Boden in unserm Sinne noch nicht die Rede; erst wenn das oberflächlich liegende Gestein durch Verwitterung zerfällt und zersetzt wird, wenn die absterbenden Pflänzchen das zersetzte Gestein mit Humus untermischen u. s. w., bildet sich auf dem Felsen eine Bodenkrume, der primäre Boden. Die Grundbestandtheile des Bodens und die ungelösten Nahrungsstoffe kommen in Form von festen Molecularaggregaten — Bodentheilchen — von der verschiedensten Größe vor, von mathematisch unbestimmbarer Kleinheit bis zum meßbaren Durchmesser der Sandkörner und der oryktognostischen und geognostischen Bruchstücke. Sie sind am kleinsten jedenfalls bei den feinvertheilten ungelösten Nahrungsstoffen, dem feinvertheilten kohlensauren Kalke und dem Thon. Je kleiner diese Molecularaggregate sind, um so leichter lassen sie sich im Wasser aufschwemmen, d. h. sie können im

---

[1]) Poggendorf's Annalen Band 92, Seite 333.

Wasser eine gewisse Zeit suspendirt bleiben, ohne sich abzusetzen — Schlemmtheile des Bodens —, die größeren fallen im Wasser gleich nieder.

Als wesentlichste Eigenschaft dieser Molecularaggregate ist ihre Anziehung zu gasigen und flüssigen Stoffen zu betrachten, eine Anziehung, welche der Physiker Flächenanziehung genannt hat. Wir wissen, daß die Oberfläche der festen Körper eine Anziehung auf gasige und flüssige Stoffe ausübt, daß diese Anziehung aber nach der Natur der Körper verschieden ist, daß sie unter gewissen Umständen chemische Zersetzungen und Verbindungen einzuleiten vermag: wir haben deshalb zu untersuchen, in wie weit sich diese Anziehung bei den Molecularaggregaten des Bodens erstreckt, welche Gestaltung sie bei dieser annimmt, und welche Bedeutung sie für die Vegetation hat.

Untersuchen wir nun zuerst das Verhalten des Wassers in seinen verschiedenen Aggregatszuständen zu den Bodentheilchen. Wenn man trocknen (bei 100^{0} getrockneten Thon) in eine mit Wasserdunst gesättigte Atmosphäre bringt, so ziehen die Thontheilchen den Wasserdunst an und condensiren ihn auf ihrer Oberfläche. Die Molecüle des Wassers lagern sich um das Thontheilchen auf die Weise herum, daß es mit einer Hülle Wasser umgeben ist. In einer gewissen Entfernung von der Oberfläche des Thontheilchens hört seine Anziehung auf; es vermag in dieser Entfernung kein Wasser mehr anzuziehen, die Peripherie der Wasserhülle erweitert sich nicht mehr, wenn auch noch soviel Wasserdunst in der Atmosphäre vorhanden wäre. Da nun aber die Anziehung mit dem Quadrate der Entfernung abnimmt, muß ein sehr ungleicher Grad der Anziehung in der Wasserhülle herrschen, von der Oberfläche des Thontheilchens bis zur Peripherie der Wasserhülle abnehmend. Wenn die einzelnen Theilchen eines Bodenvolums eine Wasserhülle um sich gebildet haben, welche sich nicht mehr zu vergrößern vermag, so sagt man, der Thon habe sich mit Wasserdunst gesättigt und nennt das so festgehaltene Wasser hygroskopisch gebunden. Der Thon besitzt eine so starke wasserdampfanziehende Kraft, daß er nach Babo in dieser Hinsicht der concentrirten Schwefelsäure gleichzustellen ist. Den Thontheilchen gleich verhalten sich auch alle anderen festen Molecularaggregate des Bodens, wie feinvertheilte Kalkerde, Sand u. s. w. Die Menge des von einem gewissen Volum Boden hygroskopisch gebundenen Wassers hängt ab von der Gesammtoberfläche der Bodentheilchen; je größer diese ist, um so größer ist auch die Menge des angezogenen Wassers, und offenbar kann sie für gleiche Volume Boden sehr verschieden sein, jenachdem die Bodentheilchen größer oder kleiner sind: bei größeren Bodentheilchen ist die Gesammt-

oberfläche kleiner als dann, wenn die gleiche Bodenmasse in kleinere Bodentheilchen vertheilt ist, weshalb in jenem Falle die Menge des hygroskopisch gebundenen Wassers kleiner ist wie in diesem. Die Hygroskopicität eines Bodens ist abhängig von der Hygroskopicität seiner einzelnen Bestandtheile. Untersuchungen über die hygroskopischen Eigenschaften des Bodens und seiner einzelnen Bestandtheile besitzen wir nur wenige (einige von Schübler). Im Allgemeinen ist festgestellt, daß der Humus die größte Hygroskopicität besitzt, auf ihn folgt der Thon und der feinvertheilte Kalk; der Sand steht in diesen Eigenschaften am niedrigsten. 100 Theile Humus nahmen in 24 Stunden 8 Theile, 100 Theile Thon 3,6 Theile Wasser in Form von hygroskopisch gebundenem Wasser auf. Auch die Größe des Feuchtigkeitsgehaltes der Atmosphäre ist von Einfluß auf die Menge Wasserdunst, welche ein hygroskopischer Körper aufzunehmen vermag; die Menge des aufgenommenen Wasserdunstes ist um so größer, als die Luft feuchter ist. Die vorhin angegebenen Zahlen wurden, wie es scheint, bei einer nicht mit Feuchtigkeit gesättigten Atmosphäre gewonnen; bei gesättigter Atmosphäre würden sie noch höher ausgefallen sein. Wenn ich mich recht entsinne, sind von anderen Experimentatoren auch höhere Zahlen gefunden worden.

Die Molecularaggregate des Bodens, die Bodentheilchen sind mehr oder weniger rund; es kann deshalb in einer Zusammenhäufung solcher Bodentheilchen nur eine Berührung in einzelnen Punkten stattfinden und müssen dadurch Räume zwischen den einzelnen Theilchen erzeugt werden. Ein Theil dieser Räume ist so klein, daß sie capillarisch wirken, d. h. Flüssigkeiten in sich aufnehmen und festhalten, wie Capillarröhrchen; ein anderer Theil ist zu groß, um durch Capillarattraction sich mit Wasser füllen zu können; diese führen in der Regel Luft. Füllt man eine an beiden Enden offene und an einem Ende mit Filtrirpapier zugebundene Glasröhre mit trockenem Boden und bringt das Filtrirpapier mit Wasser in Berührung, so steigt das Wasser in dem Boden in die Höhe, die Capillarräume füllen sich mit Wasser. Gießt man aber von oben in die Röhre Wasser in größerer Menge, so füllen sich alle Räume damit; das Wasser in den nichtcapillaren Räumen folgt indeß den hydrostatischen Gesetzen, es verläßt diese Räume und filtrirt ab; nur das Wasser in den capillaren Räumen wird festgehalten. Die Menge Wasser, welche ein gewisses Volum Boden capillarisch festzuhalten vermag, und wobei der Boden mit Wasser gesättigt ist, muß sehr verschieden sein und ist abhängig auch hier, wie bei der Hygroskopicität, von der Größe der Bodentheilchen. Je kleiner diese sind, um so mehr Zwischenräume können

gebildet werden, um so kleiner werden die Zwischenräume sein, und um so mehr wird die Zahl der capillarisch wirkenden Zwischenräume steigen. Von den letzteren ist nun die wasserhaltende Kraft des Bodens abhängig. So nahmen 100 Gewichtstheile Kalksand, dessen Körner meistens größere und verhältnißmäßig wenige capillare Zwischenräume bilden, 29 Theile Wasser auf, während 100 Theile feinvertheilte Kalkerde, die kleine und meist capillarisch wirkende Räume besitzt, 85 Theile Wasser festhielten. 100 Theile Quarzsand hielten nur 25, lehmartiger Thon 50, Thon 70 und Humus 190 Theile Wasser zurück. Die wasserhaltende Kraft eines Bodens ist durch seine Zusammensetzung bedingt; ich will einige Zahlen von Peter's[1]) hier niederschreiben.

	Lehmboden	Sandiger Kalkboden	Sandiger Lehmboden	Humusreicher Sandboden
Feinerdige thon. Theile	41,40 %	15,23 %	32,28 %	22,60 %
Staubfeiner Sand	33,10 —	33,15 —	28,04 —	16,37 —
Gröberer Sand	25,50 —	51,62 —	39,68 —	61,03 —
Humus	7,25 —	2,65 —	6,10 —	35,23 —
Wasserhalt. Kraft	60,25 —	58,88 —	65,20 —	135,35 —

Ein Boden, welcher Wasser aufgenommen, hält also einen, vielleicht kleinen, Theil hygroskopisch, einen andern capillarisch gebunden. In wie weit beide Theile dem Boden entzogen werden können, und durch welche Kräfte, ist im Interesse der Diffusion zwischen Boden und Pflanze nöthig zu untersuchen.

Bei der Capillarität ist es auch die Anziehung der Flächen, welche die Aufnahme und Festhaltung des Wassers bewirkt, im Boden also die Anziehung der Oberflächen der Bodentheilchen. Daß das capillarisch angezogene Wasser aber weniger angezogen sein muß, als das hygroskopisch festgehaltene, weil dieses der angezogenen Oberfläche näher liegt als jenes, ist wol nicht zu bezweifeln; ebenso muß man annehmen, daß das capillarisch festgehaltene Wasser um so weniger angezogen ist, als es entfernter von der anziehenden Oberfläche ist, daß es also um so weniger angezogen und mit um so geringerer Kraft in einem Capillarraum festgehalten wird, als dieser größer ist, als er weiter ist.

Betrachten wir zunächst den Einfluß der Wärme auf die Capillarität und des durch sie im Boden festgehaltenen Wassers. Die Wärme ver-

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen. Heft 5 Seite 148.

wandelt das Wasser in Dunst und Dampf; Wasser, welches capillarisch und hygroskopisch gebunden ist, kann, sobald es in Dunst- oder Dampfform übergeführt wird, die anziehende Oberfläche und den Capillarraum verlassen. Das capillarisch gebundene Wasser verdunstet schon bei gewöhnlicher Temperatur aus dem Boden fort; das hygroskopisch gebundene bedarf dagegen höherer Temperatur, um sich von der anziehenden Oberfläche losreißen zu können. Die Verdunstung wirkt also der capillaren, die Verdampfung aber auch der hygroskopischen Anziehung entgegen, der letzteren vielleicht auch schon eine Verdunstung bei höherer Temperatur. Ein Boden, welcher auf die eine oder andere Weise Wasser aufgenommen hat, verliert zuerst Wasser in Folge der Verdunstung; die letzten Antheile, das hygroskopisch gebundene, wird aber mit großer Hartnäckigkeit festgehalten und geht erst bei höheren Temperaturgraden fort, durch Erhitzen und Glühen. Die erstgenannte Art des Wasserverlustes bedingt das natürliche Austrocknen eines Bodens an der Luft und setzt eine mit Feuchtigkeit nicht gesättigte Atmosphäre voraus; sie ist um so stärker, je niedriger der relative Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre ist. Bei dem natürlichen Austrocknen des Bodens geht zuerst das Wasser aus den oberflächlichsten d. h. von Luft begrenzten Capillarräumen fort; sind diese nun leer geworden, so ziehen sie wieder Wasser aus den tiefergelegenen Capillarräumen an, und indem aus den ersten beständig Wasser verdunstet, wird es ihnen aus den letzteren fortwährend zugeführt. Wird dem Boden auf irgend eine Weise das verdunstete Wasser beständig zugeführt, indem er z. B. mit einer Quelle oder sonst einem Wasserreservoir in Verbindung steht, so kann er natürlich nicht austrocknen; anders verhält es sich indeß, wenn dies nicht der Fall ist; dann verlieren zuerst die größten Capillarräume das Wasser und so fort die weniger großen, bis zuletzt auch die kleinsten ihr Wasser abgeben. Wie die Capillarattraction kleinerer Räume auf größere wirkt, kann man sehr leicht bei Capillarröhrchen sehen; mit einer engeren Röhre ist man nämlich im Stande, einer weiteren alles capillarisch festgehaltene Wasser zu entziehen, offenbar weil in der weiteren Capillarröhre der größte Theil des Wassers, wegen seiner größeren Entfernung von den anziehenden Flächen, weniger stark angezogen ist als in engeren. Der Boden, in welchem Capillarräume von der verschiedensten Größe vorkommen müssen, und welchem fortgehendes Wasser nicht wieder ersetzt wird, kommt in einen Zustand, wo das vorhandene Wasser nicht mehr ausreicht, um alle Capillarräume zu füllen; in diesem Zustande nun und während aus den oberflächlichen Capillarräumen das Wasser fortgeht, welches aus den tiefergelegenen wieder ersetzt wird, entziehen die kleineren mit größerer Capillarität

wirkenden Räume den größeren das Wasser, grade so wie die engere Capillarröhre der weiteren, bis dann zuletzt auch die kleinsten ihr Wasser abgeben müssen und der Boden ausgetrocknet ist.

Ein Boden, welcher viele nicht capillaren Räume enthält, und wenn dieselben Luft enthalten, bietet der Verdunstung eine größere Oberfläche dar, als ein anderer, welcher meistens capillare, mit Wasser gefüllte Räume enthält: es ist dies auch die Ursache, weshalb ein Sandboden weit schneller sein Wasser verdunstet, als ein thon- oder humusreicher Boden. Von 100 Theilen capillarisch gebundenen Wassers verdunsteten in 4 Stunden bei 18°,75 C aus Quarzsand 88,4, aus lehmartigen Thon 45,7, aus Thon 31,3, aus fein vertheilter Kalkerde 28 und aus Humus 20,5 Theile.

Die Wärme wirkt nicht nur dadurch allein der Capillarität entgegen, daß sie das Wasser, in Dunst verwandelnd, dem Capillarraum entführt, sondern sie schwächt auch die anziehende Kraft selbst. Wolf's[1]) Versuche mit Capillarröhrchen geben uns hierfür entschiedene Beweise. Er fand, daß die Höhe, bis zu welcher eine Flüssigkeit in einer Röhre aufsteigt, mit zunehmender Temperatur abnimmt. Die Capillarattraction wird also durch die Wärme schwächer, und es fragt sich, zu welchen Erscheinungen dieser Einfluß der Wärme sich im Boden gestaltet. Die Capillarattraction wirkt um so schwächer, als die Capillarräume größer sind; es wird daher der schwächende Einfluß der Wärme bei größeren Capillarräumen mehr hervortreten, als bei kleineren. Capillarräume von gewisser Größe, welche bei niederer Temperatur Wasser angezogen halten, werden dies bei höheren Temperaturgraden verlieren, weil die capillare Anziehung so schwach wird, daß sie das Wasser nicht mehr zu halten vermag. Die wasserhaltende Kraft eines Bodens wird demnach bei zunehmender Temperatur abnehmen. Wahrscheinlich wird auch bei höherer Temperatur den größeren Capillarräumen das Wasser leichter von den kleineren entzogen, was dann weiter wieder eine schnellere capillare Bewegung des Wassers zur Folge haben muß, wenn dem Boden durch Verdunstung oder eine andere Ursache das capillarisch festgehaltene Wasser entzogen wird, d. h. das Wasser wird dem Orte, wo es den Boden verläßt, schneller zugeführt werden.

Auch chemische Anziehung kann dem Boden oder seinen Capillarräumen das capillarisch festgehaltene Wasser entziehen. Eine der wichtigsten Anziehungen dieser Art ist die Diffusion. Denken wir uns eine

---

[1]) Annal. de Chim. et de Phys. Série III. Vol. 49. De l'influence de la température sur les phénomènes qui se passent dans les tubes capillaires.

Zelle, die eine stark concentrirte Salzlösung von hohem endosmotischen Aequivalente oder eine Eiweißlösung enthält, in einen Boden versetzt, dessen Capillarräume Wasser enthalten, so wird eine Diffusion zwischen dem gelösten Stoffe des Zellsaftes und dem Wasser des Capillarraumes eintreten, wobei aber aus bekannten Gründen der gelöste Stoff den angrenzenden Capillarräumen das Wasser entzieht und in die Zelle einführt. Besonders mächtig wirken auch hier die gelösten Proteinsubstanzen und schleimigen Kohlenhydrate, weil sie nur in geringster Menge die Zellen verlassen und beständig Wasser anziehen. Ist das Wasser einmal in die Zelle eingeführt, so unterliegt es nicht mehr der Capillarität. Alles capillarisch von einem Boden festgehaltene Wasser kann ihm durch Pflanzen, also durch die diffundirende Thätigkeit des Inhaltes der Wurzelzellen entzogen werden, wie ich dies auch später speciell nachweisen werde. Die chemische Anziehung, welche als Diffusionsbestreben in die Erscheinung tritt, wirkt der Capillarität entgegen, jene ist demnach stärker als die capillare Anziehung.

Einige Forscher glauben in der Zellenmembran eine anziehende Kraft annehmen zu müssen, die, stärker als die capillare Anziehung der Bodentheilchen, dem Boden das Wasser entzöge; es ist dies eine Erklärung der Sache, zu welcher derjenige hingeleitet werden muß, welcher die Diffusion mit ihren Wirkungen nicht kennt. Die Zellenmembran hat freilich, wie die meisten anderen permeablen Körper eine Anziehung zu Wasser, diese ist aber eine der Capillarattraction verwandte Anziehung. Eine permeable Membran ist wol im Stande, dem Boden das capillarisch festgehaltene Wasser zu entziehen; sobald indeß die Molecularinterstitien mit Wasser gefüllt sind, müßte die Anziehung aufhören, zudem würde die Membran einer lebensthätigen Zelle das Wasser eben so leicht aus dem Zelleninhalte aufnehmen, als es dem Boden entziehen, um ihrer Anziehung zu genügen; so lange wie die Zelle Wasser enthielt, würde die Membran kein Wasser dem Boden entziehen können. Kurz eine solche Ansicht ist mit den Diffusionsgesetzen nicht in Einklang zu bringen. Wenn an irgend einem Ort im Boden capillarisch gebundenes Wasser durch die beschriebenen Vorgänge fortgeführt wird, indem es z. B. in eine Pflanze übertritt, so wird diesem Orte das Wasser ebenso wieder zugeführt, als wenn es durch Verdunstung fortginge, es treten im Boden dieselben Vorgänge ein. Näheres in einem späteren Capitel.

Gleich dem dunstförmigen Wasser werden auch andere gasige Stoffe von der Oberfläche der Bodentheilchen angezogen und festgehalten. Zu den für uns wichtigsten gehören Kohlensäure und Ammoniak, sowol

freies als kohlensaures. Ein trockner Boden absorbirt von diesen gasigen Stoffen eine gewisse Menge und zwar von Ammoniak mehr als von Kohlensäure. Hinsichtlich der Größe der absorbirenden Kraft gilt dasselbe, was bereits für die Hygroskopicität gesagt wurde; ein Boden wird um so mehr absorbiren, als seine Theilchen kleiner sind u. s. w. Ein Boden, dessen Capillarräume zum Theil mit Wasser erfüllt, zum andern Theile aber frei sind, wird in zweifacher Weise die genannten Gase absorbiren; das in den Capillarräumen enthaltene Wasser wird, wie freies Wasser, Kohlensäure und Ammoniak aufnehmen, auflösen und durch Diffusion in sich gleichmäßig verbreiten; die wasserleeren Capillarräume absorbiren die Gase auf die vorhin erwähnte Weise. Diese Vorgänge spielen in der Vegetation eine gewiß nicht unbedeutende Rolle.

Ein großes Interesse hat für uns die Frage, ob auch gelöste Stoffe von der Oberfläche der Bodentheilchen angezogen und festgehalten werden können, ob sie aus ihrer Lösung durch Flächenanziehung ausgeschieden und dadurch der Hydrodiffusion entzogen werden. Die Frage ist deshalb so interessant für uns, weil die meisten im Bodenwasser gelösten Stoffe Nahrungsmittel für die Pflanze sind. Mit Ausnahme der Kohlensäure sind die pflanzlichen Nahrungsstoffe Salze; sie müssen in löslicher Form vorhanden sein, wenn sie in die Pflanze eintreten sollen, wenigstens in dem Augenblicke, wo sie die Membrane der Wurzelzellen passiren, da eine Membrandiffusion derselben anders nicht denkbar ist.

Wie ich nun gleich nachweisen werde, zieht die Oberfläche der Bodentheilchen Salze nicht an, sie entzieht sie nicht der Lösung. Ich brachte ein Gemenge von Thon und Sand, von jedem etwa 50 Procent enthaltend, welches einige Tage lang zur Entfernung aller löslichen Bestandtheile mit concentrirter Chlorwasserstoffsäure gekocht worden war, und so lange ausgewaschen wurde, bis sich keine Spur von Chlor mehr zeigte, auf ein Filter, ließ dann eine concentrirte Lösung von phosphorsaurem Ammoniak durchfiltriren und hernach so lange Wasser durchgehen, bis das Filtrat vollkommen frei von Phosphorsäure und Ammoniak war. Das Gemenge hierauf mit kochendem Wasser ausgewaschen, erhielt ich ebenfalls keine Reaction auf die genannten Stoffe mehr, selbst dann nicht mehr, wenn ich es mit Chlorwasserstoffsäure kochte und heiß filtrirte. Es war also von dem kalten Wasser alles phosphorsaure Ammoniak den Thontheilchen entzogen worden. Mit anderen Salzen erhielt ich gleiche Resultate, so mit Chlorammonium, Chlorkalium, schwefelsaurem Kali und Ammoniak, phosphorsaurem Natron. Mag auch vielleicht die Oberfläche der Bodentheilchen eine gewisse Anziehung zu Salzen besitzen, so kann

sie doch unter gewöhnlichen Verhältnissen, d. h. wenn der Boden Wasser enthält, nicht zur Geltung kommen, weil die chemische Anziehung des Wassers zum Salze, das Diffusionsbestreben dieser Flächenanziehung entgegenwirkt. Käme z. B. ein trockner Boden mit gasförmigem kohlensaurem Ammoniak oder mit Kohlensäure in Berührung, und hätte er auf den Oberflächen seiner Theilchen von diesen Stoffen condensirt, so würden sie, sobald die Capillarräume sich mit Wasser füllen, den Oberflächen der Bodentheilchen durch das Wasser entzogen, sich in ihm lösen und über dasselbe gleichmäßig verbreiten — diffundiren. Der Boden, so lange er nicht durch seine Bestandtheile zersetzend und unlöslich ausscheidend auf die Salze wirkt, vermag nicht aus Salzlösungen, mit welchen er zusammenkommt, Salze auszuscheiden, d. h. die Oberfläche der Bodentheilchen kann aus der Lösung kein Salz anziehen und gebunden halten. Die Lösungen bleiben unverändert, weil die Anziehung des Wassers zu den gelösten Salzen größer ist, als die Flächenanziehung der Bodentheilchen zu ihnen. Wenn man einen bei 100° C getrockneten Boden, der vollständig frei von allen auf Salze zersetzend wirkenden Bestandtheilen ist, etwa das vorhin erwähnte ausgekochte Thon-Sand-Gemenge, mit einer Salzlösung übergießt, wie dies gewöhnlich bei den Bodenabsorptionsversuchen geschieht, so dringt die Salzlösung unverändert in den Boden ein d. h. Salz und Wasser in dem Verhältnisse, wie sie sich in der Lösung befinden; die über dem Thon-Sand-Gemenge stehende Lösung behält ihre ursprüngliche Concentration. Anders hingegen verhält die Sache sich, wenn der Boden schon vor dem Versuche mit reinem Wasser gesättigt ist; dann nimmt, wenn der Boden mit einer Salzlösung übergossen wurde, die über dem Boden stehende Salzlösung sehr bald an Concentration ab, welche Erscheinung jedoch nicht auf eine Absorption des Salzes hindeutet, sondern einfach in der Diffusion des in der Lösung enthaltenen Salzes auf das im Boden vor dem Versuche enthaltene Wasser begründet ist, wodurch natürlich die ursprüngliche Lösung an Concentration abnehmen muß. Die in Lösungen enthaltenen Salze werden also, wenn sie mit Boden oder mit Ackererde zusammenkommen, als solche nicht absorbirt, wie dies auch durch die Versuche Way's, Henneberg und Stohmann's und durch die umfassende Arbeit Peters'[1]) dargethan wurde.

Im Boden findet aber eine andere Art Absorption statt, welche für die Vegetation von der größten Wichtigkeit ist und bis vor Kurzem ganz übersehen wurde. Es ist dies die Absorption der Base mancher Salze,

---

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen 5. Heft. „Studien über den Boden."

vorzüglich Kali und Ammoniak, und die Absorption einiger Säuren aus Salzen, wie Phosphorsäure; diese Absorption setzt aber Stoffe im Boden voraus, mit welchen die Salze ihre Bestandtheile austauschen können. Uebergießt man Ackererde mit einer Auflösung von Chlorkalium, so wird das Chlorkalium durch irgend einen Stoff der Erde, meistens durch ein Kalksalz, zersetzt, das Chlor tritt an den Kalk, welcher als Chlorcalcium in Lösung übergeht, und das durch die Zersetzung freigewordene Kali wird von der Erde absorbirt. Wir finden deshalb auch immer ein dem absorbirten Kali entsprechendes Aequivalent Kalk in der Lösung; wurde z. B. 1 Aequivalent (47,2) Kali absorbirt, so tritt 1 Aequivalent (28) Kalk in Lösung. „Zur Absorption von Basen aus Salzen ist also die Anwesenheit anderer Basen, mit denen die Säure sich vereinigen kann, nothwendig." Peters[1]). Wird Erde mit der Lösung eines Salzes übergossen, dessen Säure mit Kalk (oder Magnesia) eine unlösliche Verbindung eingeht, so kann auch die Säure, indem sie unlöslich ausgeschieden wird, von der Erde absorbirt werden und zwar gleichzeitig mit der Base, wenn diese eine absorbirt-werdende ist. So wird z. B. von phosphorsaurem Kali Säure und Base absorbirt. Wenn die Säure auf diese Weise neben der Base absorbirt wird, so kann selbstverständlich die Säure nicht wieder in der Lösung erscheinen, und es wird dann auch nicht die absorbirte und aus der Lösung verschwindende Base durch eine aequivalente Menge einer anderen Base in der Lösung ersetzt. Behandelte Peters Erde mit phosphorsaurem Kali, so traten während der Absorption des Kalis verhältnißmäßig nur kleine Mengen Kalk in die Lösung über; ebenso bei kohlensaurem und weinsaurem Kali.[2])

Auch Peters[3]) fand, daß Ackererde, wenn er sie vorher mit Salzsäure behandelte und alles Lösbare ausgezogen hatte, ihre basenabsorbirende Eigenschaft verlor, dieselbe bei seinen Versuchen wenigstens bis auf ein Minimum reducirt wurde. So fand er, daß eine Erde, die im rohen Zustande 0,1841 Gramm Kali aus einer Chlorkaliumlösung absorbirte, nach der Behandlung mit Salzsäure und gehörigem Auswaschen der Säure nur noch 0,0227 Gramm Kali zu absorbiren vermochte. Bei diesem Versuche trat für das absorbirte Kali 0,0136 Gramm Kalk in Lösung; das Aequivalent des absorbirten Kalis entspricht genau dem Aequivalente des in Lösung versetzten Kalkes, denn 136 Ca O sind

---

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen. 5. Heft. „Studien über den Boden." Seite 147.

[2]) Peters, a. a. O. Seite 119.

[3]) A. a. O. Seite 146.

aequivalent 229 K O. Es war hier also die Erde nicht alles Kalkes beraubt; es würde sonst nichts absorbirt worden sein. Uebrigens geht auch aus diesem Versuche mit aller Bestimmtheit hervor, daß Chlorkalium als solches, d. h. unzersetzt nicht absorbirt wurde. Der ausgezogenen Erde konnte Peters die absorbirende Eigenschaft mehr oder weniger durch Behandlung mit Kalksalzen, Chlorcalcium, Gyps, einfach und doppelt kohlensaurem Kalke wiedergeben.

Die Absorption der Phosphorsäure aus Salzen beruht in einer chemischen Bindung derselben in unlöslicher Form. Die durch Zersetzung aus Salzen freigewordenen und in Folge dessen vom Boden absorbirten Basen sind auch aus der Lösung ausgeschieden und scheinen ebenfalls in einer unlöslichen oder doch sehr schwer löslichen Form im Boden vorhanden zu sein. Wodurch aber die Absorption der Base verursacht wird, ob sie die Folge einer Flächenanziehung der Bodentheilchen ist, oder ob die Base eine unlösliche chemische Verbindung eingeht, wissen wir nicht — die vorhandenen Arbeiten genügen auch nicht im Mindesten, um sich ein entscheidendes Urtheil bilden zu können. Liebig, Henneberg und Stohmann und Peters neigen zur Annahme einer Flächenanziehung; Way, Struckmann und Knop wollen die Absorption als eine chemische Bindung ansehen — nach Way soll Kali und Ammoniak feldspathähnliche Doppelsilicate, nach Knop glimmerähnliche Producte bildend, absorbirt werden.

Für uns kann es ziemlich gleichgiltig sein, auf welche Weise die Base gebunden wird; es genügt uns zu wissen, daß sie in unlöslicher Form vorhanden ist, daß sie aber wieder durch die Einwirkung freier Säuren in lösliche Form übergeführt werden kann. In der unlöslichen Form ist die Base kein assimilirbares Nahrungsmittel und nicht der Diffusion unterworfen; wenn sie durch eine Säure gelöst wird, ist sie erst wieder fähig zu diffundiren und in die Pflanze überzugehen. Peters fand, daß absorbirtes Kali schon durch Wasser in einem geringen Grade gelöst wurde; Kohlensäure wirkte stark lösend, mehr oder schneller aber Essigsäure und Chlorwasserstoffsäure.[1]) Im Boden bewirken die Lösung der absorbirten Basen vorzüglich die Kohlensäure und höchstwahrscheinlich organische Säuren, welche die Pflanze durch ihre Wurzel ausscheidet; auch die absorbirte Phosphorsäure kann durch die genannten Säuren gelöst werden. Ein Boden, welcher absorptionsfähig sein soll, darf deshalb keine freien Säuren enthalten; die Gegenwart derselben läßt eine Absorption nicht zu Stande kommen. Wenn ein Boden eine gewisse

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen, Heft 5, S. 128—137.

Menge freie Kohlensäure enthält und mit einem zersetzenden Salze zusammenkommt, so kann dessen Base wol absorptionsfähig abgeschieden werden, sie muß indeß an die freie Kohlensäure treten; tritt eine Bindung aller freien Kohlensäure ein, so wird nun nicht nur die freiwerdende Base des erst hinzugekommenen Salzes absorbirt, sondern auch das neugebildete kohlensaure Salz wird zersetzt und dessen Base absorbirt. Enthält der Boden aber eine Kohlensäurequelle z. B. in Zersetzung begriffene humose Substanzen, wie sie in jedem cultivirten und mit Vegetation bedeckten Boden vorkommt, so muß beständig die absorbirte Base in Lösung treten, sie wird als kohlensaures Salz in der Nahrungsflüssigkeit der Pflanze d. h. in dem capillarisch gebundenen Wasser des Bodens enthalten sein. Wie die von der Wurzel ausgeschiedenen Säuren wirken, und welche Bedeutung diese Vorgänge überhaupt für die Pflanze haben, werde ich in einem späteren Capitel besprechen; hier war es mir hauptsächlich nur darum zu thun, darauf hinzuweisen, daß die absorbirten Basen leicht wieder in Lösung versetzt und in das Bodenwasser übergehen können. Aehnlich wie Basen werden sich absorbirte Säuren, Phosphorsäure und vielleicht Kieselsäure, verhalten; denn die phosphorsauren Kalk- und Magnesiasalze, als welche die Phosphorsäure jedenfalls im Boden absorbirt vorkommt, sind in kohlensäurehaltigem Wasser löslich.

Die in dem capillarisch vom Boden festgehaltenen Wasser gelösten pflanzlichen Nahrungsstoffe sind den Gesetzen der Hydrodiffusion unterworfen, sie verbreiten sich gleichmäßig über das Wasser, so weit dieses in freiem Zusammenhange steht, so weit die Capillarräume mit einander communiciren. Die Capillarität setzt der Diffusion kein Hinderniß entgegen; Haarröhrchen liefern uns hierzu die experimentellen Beweise. Läßt man in einem solchen Wasser, welches mit etwas Lackmustinctur blau gefärbt ist, in die Höhe steigen, und bringt das untere Ende des Haarröhrchens hierauf mit verdünnter Säure in Berührung, so sieht man an der Röthung des Wassers, wie die Säure allmählig in dem Wasser des Röhrchens hinaufsteigt, in demselben diffundirt. Das von dem Boden capillarisch gebundene Wasser und die in ihm gelösten Stoffe bilden die Nahrungsflüssigkeit der im Boden vegetirenden Pflanzen. Die fortwährend auflösende Thätigkeit im Boden führt der Nahrungsflüssigkeit Stoffe zu, andere Processe scheiden aus der Nahrungsflüssigkeit Stoffe in unlöslicher Form aus; die aufgelösten Stoffe werden aber in fortwährender Bewegung sein, um sich in der Nahrungsflüssigkeit ins Gleichgewicht zu setzen, wenn dasselbe an irgend einem Orte gestört wird. Denken wir uns nun in einen mit Nahrungsflüssigkeit versehenen Boden eine lebende Zelle, eine permeable Membran, welche eine Lösung von anorganischen

und organischen Stoffen umschließt, versetzt; zunächst nun wird sich Gleichgewicht zwischen Nahrungsflüssigkeit und Zellflüssigkeit herstellen; consumirt nun die Zelle irgend einen anorganischen Stoff, d. h. verschwindet er aus der Lösung der Zelle, sinkt dadurch die Concentration des Zellsaftes in Bezug auf den consumirten Stoff unter die Concentration der Nahrungsflüssigkeit: so treten aus dieser neue Mengen in die Zelle ein, und zwar so lange, bis das gestörte Gleichgewicht innerhalb und außerhalb der Zelle wieder hergestellt ist. Die Gleichgewichtsstörung erzeugt auch im Boden eine Diffusionsströmung des in der Zelle aus der Lösung verschwindenden Stoffes, die sich von der Zelle aus in dem Boden weiter verbreitet. Die Zelle ist mithin nicht blos auf die gelösten Stoffe ihrer nächsten Umgebung angewiesen; auch aus weiterer Entfernung können ihr Stoffe durch Diffusion zugeführt werden.

Die Aufnahme der Nahrungsstoffe von der Pflanze d. h. der Uebergang derselben in die Wurzelzellen erzeugt also eine Diffusion in der Nahrungsflüssigkeit durch den Boden. Die gelösten Stoffe diffundiren aber nicht alle mit gleicher Geschwindigkeit; es muß demnach auch der eine Stoff schneller der Wurzel zugeführt werden, wenn er in der Wurzel oder überhaupt in der Pflanze eine Consumption erleidet, als der andere. Wie sich die Diffusionsgeschwindigkeit der verschiedenen pflanzlichen Nahrungsstoffe verhält, darüber ist bis jetzt wenig bekannt. Ich verweise auf das früher über Hydrodiffusion Gesagte.

Der Wassergehalt eines Bodens ist auch von wesentlichem Einflusse auf die Schnelligkeit der Diffusion, also auch auf die Schnelligkeit, mit welcher der Pflanze Stoffe zugeführt werden. In einem Boden, der mit Wasser gesättigt ist, worin alle Capillarräume mit Wasser gefüllt sind, geht die Diffusion schneller von Statten, als in einem Boden, worin nur die kleineren Capillarräume Wasser enthalten. Die Diffusion ist eine gradlinige Bewegung. Wird an einem Orte im Boden ein gewisser Stoff aus der Lösung ausgeschieden und dadurch eine Diffusion nach dem Orte der Ausscheidung hervorgerufen: so kann in einem gesättigten Boden die Diffusion von allen Seiten her und in gradliniger Richtung dem Orte der Ausscheidung zugehen; nicht so in einem Boden, wo die größeren Capillarräume leer von Wasser sind; hier ist jeder leere Capillarraum ein Hinderniß der Diffusion, jeder lenkt die Diffusion von der gradlinigen Richtung ab und verlangsamt sie, die Ausgleichung der Concentration erfordert mehr Zeit. In einem mit Wasser gesättigten Boden, im Sumpfboden, im Boden der Flüsse und Seen u. s. w. werden die Nahrungsstoffe der Pflanze schneller zugeführt als in dem Landboden, in Ackererde u. s. w.; hier ist die Diffusion eine trägere.

Es sei hier noch einer andern Erscheinung gedacht, welche von großem Einflusse auf die Diffusion ist und im Boden sehr häufig zum Vorschein kommt; es ist dies die Plasticität des Thones. Wenn Thon eine gewisse Menge Wasser aufgenommen hat, so adhäriren seine Theilchen ziemlich innig an einander, die Capillarräume sind dadurch mehr oder weniger von einander abgeschlossen; kurz es tritt der Zustand ein, welchen wir Plasticität nennen, und welcher die Diffusion sehr erschwert oder gänzlich aufhebt. Wenn ich eine Lösung von Glaubersalz oder Zucker durch eine zollhohe Schicht plastischen Thones von Wasser trennte, so waren in 8 Tagen kaum Spuren von dem gelösten Stoffe durch den Thon auf's Wasser diffundirt. Von welcher Einwirkung diese Verhältnisse auf den Boden sein können, ist leicht einzusehen. In einem thonreichen Boden, wenn er mit Wasser gesättigt wird und in den plastischen Zustand übergeht, ist die Diffusion sehr erschwert, den Pflanzen können die Nahrungsstoffe nur in beschränkter Weise zugeführt werden, die Vegetation kann in Folge dessen nur eine kümmerliche sein.

Zweite Abtheilung.

Die Diffusion

in ihrer Beziehung zur Pflanze.

Die Pflanzenzelle und ihre Membran.

Die Pflanze ist in den meisten Fällen ein Complex von Zellen, deren jede, wenn sie noch lebensthätig ist, eine geschlossene permeable Membran darstellt. In den niederen Pflanzenfamilien finden sich auch Pflanzen, welche aus einer einzelnen Zelle bestehen. Die Membran als äußerste Umkleidung der Zelle schließt einen theils flüssigen, theils festen Inhalt ein. Die äußere Fläche der Zellenmembran steht entweder mit der Nahrungsflüssigkeit in Berührung, in welchem Falle zwischen dem flüssigen Zelleninhalte und der äußern Nahrungsflüssigkeit durch die Membran hindurch Diffusionsbewegungen stattfinden, oder sie steht mit der äußern Membranfläche einer andern Zelle in Berührung, wobei alsdann zwischen den Inhalte der sich berührenden Zellen Diffusionsbewegungen eintreten. Die Zellenmembran ist, wie schon gesagt, eine permeable Membran und als solche vollkommen structurlos, wenigstens im jugendlichen Zustande, und porenlos. Wie man allen diffusionsfähigen Membranen Poren zugeschrieben hat, so nahm man auch bei der Zellenmembran solche an. Carl Schimper*) ging sogar so weit, daß er glaubte aus den Drehungen, welche bei gewissen langgestreckten Zellen beim Eintrocknen constant eintreten, schließen zu müssen, die Poren seien in einer gewissen Richtung geordnet (gleichsam aneinander gereiht und die Reihen in eine bestimmte Richtung gestellt), und die Membran sei eine Zusammenfügung rhombischer Körperchen. Ueber andere Ansichten von der Natur der Zellenmembran kann ich füglich hinweggehen, da sie heute kaum mehr Beachtung verdienen.

*) Auf der Naturforscherversammlung 1857 in Bonn, in der 1. Sitzung der bot. Section.

Die Pflanzenzelle und ihre Membran.

Die Pflanze ist in den meisten Fällen ein Complex von Zellen, deren jede, wenn sie noch lebensthätig ist, eine geschlossene permeable Membran darstellt. In den niederen Pflanzenfamilien finden wir auch Pflanzen, welche aus einer einzelnen Zelle bestehen. Die Membran als äußerste Umkleidung der Zelle schließt einen theils flüssigen, theils festen Inhalt ein. Die äußere Fläche der Zellenmembran steht entweder mit der Nahrungsflüssigkeit in Berührung, in welchem Falle zwischen dem flüssigen Zelleninhalte und der äußern Nahrungsflüssigkeit durch die Membran hindurch Diffusionsbewegungen stattfinden, oder sie steht mit der äußern Membranfläche einer andern Zelle in Berührung, wobei alsdann zwischen dem Inhalte der sich berührenden Zellen Diffusionsbewegungen eintreten. Die Zellenmembran ist, wie schon gesagt, eine permeable Membran und als solche vollkommen structurlos, wenigstens im jugendlichen Zustande, und porenlos. Wie man allen diffusionsfähigen Membranen Poren zugeschrieben hat, so nahm man auch bei der Zellenmembran solche an. Carl Schimper[1]) ging sogar so weit, daß er glaubte aus den Drehungen, welche bei gewissen langgestreckten Zellen bei'm Eintrocknen constant eintreten, schließen zu müssen, die Poren seien in einer gewissen Richtung geordnet (gleichsam aneinander gereiht und die Reihen in eine bestimmte Richtung gestellt), und die Membran sei eine Zusammenfügung rhombischer Körperchen. Ueber andere Ansichten von der Natur der Zellenmembran kann ich füglich hinausgehen, da sie heute kaum mehr Beachtung verdienen.

---

[8]) Auf der Naturforscherversammlung 1857 in Bonn, in der 1. Sitzung der bot. Section.

Die Membran aller jungen Zellen ist permeabel; wenn die Zellen älter werden, verliert ihre Membran mehr oder weniger an Permeabilität oder wird sogar ganz impermeabel. Zellen, welche durch Ablagerung neuer Schichten auf die innere Membranfläche sich verdicken, gestatten bei einem gewissen Grade von Verdickung keine Diffusion mehr, ebensowenig Zellen, deren Membran cuticularisirt wird oder verkorkt oder Cuticularschichten ausscheidet. Bei vielen Zellen sind jedoch die Verdickungsschichten so durchbrochen, daß noch Diffusionsströmungen aus einer Zelle in die andere gehen können. Unzweifelhaft dienen die Spalten und Porenkanäle der Gefäß- und Prosenchymzellen der Diffusion; besonders überzeugend tritt Dies bei jenen Zellen hervor, welche mit Porenkanälen versehen sind, wo stets der Porus der einen Zelle in den Porus der anliegenden Zelle mündet und der Inhalt der sich berührenden Zellen durch die diffusionsfähig gebliebenen Stellen der Membran sich mischen kann. So lange wie die genannten Zellen einen flüssigen Inhalt enthalten, findet eine Diffusion statt; sobald wie dieser Inhalt verschwindet und durch Luft ersetzt wird, hört natürlich alle Hydrodiffusion auf, um dann vielleicht der Aerodiffusion Platz zu machen; solche Zellen sind als todt zu betrachten. Auch Zellen mit Cuticularschichten auf der äußern Membranfläche können auf ähnliche Weise der Diffusion zugänglich bleiben; ist dieser Fall auch ein seltener, so finden wir ihn doch zuweilen, wie bei den Pollenkörnern. Die äußere Fläche der Pollenzelle ist mit Cuticula überzogen, scheint indessen an einzelnen Stellen zu fehlen; an diesen cuticalafreien Stellen treten von außen Stoffe in die Pollenzelle ein, sie dehnen sich aus und entwickeln sich zu Schläuchen — Pollenschläuche. Bei Oberhautzellen ist meist die äußere mit Luft in Berührung stehende Seite verkorkt oder mit Cuticula überzogen und nicht permeabel, während die entgegengesetzte, mit anderen Zellen in Berührung stehende Seite vollkommen permeabel ist.

Denken wir uns nun, eine solche Zellenmembran schließe reines Wasser ein und sei von einer Salzlösung umgeben; es werden dann alle Erscheinungen eintreten, welche wir bei der Membrandiffusion kennen gelernt haben: das Salz der äußern Lösung tritt in die Zelle ein, bis deren Inhalt sich mit der Lösung außerhalb in's Gleichgewicht gesetzt hat; wenn das Salz ein hohes endosmotisches Aequivalent hat, so wird gegen das eintretende Salz so viel Wasser austreten, daß die Membran zusammenfällt; sind mehrere Salze in der Lösung, so hängt die eintretende Menge eines jeden von der Concentration und der Durchgangsfähigkeit ab ꝛc. Der flüssige Inhalt lebensthätiger Zellen ist eine wässrige Lösung von Proteinsubstanzen, gummiähnlichen Stoffen, Zucker, Pflanzensäuren, pectinartigen

Stoffen, Alkaloiden, anorganischen Salzen u. s. w. Die bei den Pflanzen in Betracht kommenden diffundirenden Stoffe lassen sich in zwei Klassen theilen: erstens in solche, welche sich leicht mischen, wie Salze und Zucker, und zweitens in solche, welche sich schwer mischen, die Stoffe schleimiger Natur, wie Eiweiß und Gummi, und welche sich durch ihr hohes endosmotisches Aequivalent auszeichnen. Die Stoffe der letzten Klasse sind in der Pflanzenzelle zum größten Theile an die innere Wand gedrängt und bilden hier eine die Zelle auskleidende, schleimige Schicht, welche man Protoplasma genannt hat (Schleiden's stickstoffhaltige Auskleidung). In dem Protoplasma finden sich proteinartige Stoffe, schleimige Kohlenhydrate, pectinartige Stoffe. Ihr Vorkommen variirt indeß sehr nach der Natur der Zelle, während z. B. in den Cambiumzellen die beiden ersten vorwiegend vertreten sind, treten die pectinartigen Stoffe ganz zurück, dagegen finden diese sich vorwaltend in gewissen Parenchymzellen (Collenchym). Die übrigen gelösten Stoffe sind größtentheils im Zellensafte enthalten; es mögen in demselben jedoch auch verhältnißmäßig geringe Mengen der obengenannten Stoffe vorkommen.

Welche Bedeutung die Proteinsubstanzen und schleimigen Kohlenhydrate für die Zellen haben, ist leicht einzusehen, wenn man bedenkt, daß sie große Mengen Wasser in die Zelle einführen, ohne daß von ihnen sich größere Mengen aus der Zelle herausbewegen.

Außer dem Zellsafte und dem Protoplasma enthält die Zelle noch ungelöste Stoffe, Proteinkörner, Chlorophyll; manche Zellen, bei welchen aber das Protoplasma zurücktritt, Stärkemehlkörner, Krystalle von kohlensaurem, schwefelsaurem, oxalsaurem Kalk u. s. w. und schließlich die meisten jungen Zellen ein organisirtes Gebilde, den Zellenkern.

Ob der Zellenkern auch in Beziehung zur Diffusion steht, wissen wir nicht. Wenn auch bis jetzt noch nicht entschieden ist, daß der Zellenkern stets eine eigene Membran hat, so läßt sich das doch mit der größten Wahrscheinlichkeit annehmen; ebenso wahrscheinlich dürfte es dann sein, daß diese Membran permeabel ist und Diffusionsströmungen zwischen ihrem Inhalte und dem umgebenden Protoplasma oder dem Zellsafte stattfinden.

Die Diffusion der isolirten Zelle.

Wir wollen nun die Diffusionsvorgänge verfolgen, welche eine lebende Zelle darbietet, und wollen zu dem Zwecke eine solche wählen, die im Entstehen begriffen ist. Im Embryosacke eines Samens hat sich ein Cytoblast oder Zellenkern gebildet, der Cytoblast ist von Protoplasma umgeben; dieses bildet sich in seinen äußern Schichten zu Cellulose um (oder es scheidet ein der Cellulose nahestehendes Kohlenhydrat aus), welche, Anfangs noch schleimig, erhärtet und in diesem Zustande eine allseitig geschlossene Membran bildet, welche die Theile, woraus sie gebildet wurde, umschließt. Protoplasma und Cytoblast, umgeben von einer permeablen Membran und in Berührung mit dem Zellsafte des Embryosackes: das ist die junge Zelle, und jetzt erst sind die Bedingungen zur Membrandiffusion gegeben. Das Protoplasma der jungen Zelle besteht vorwiegend aus Proteinsubstanzen, diese ziehen das Wasser des Embryosack-Zellsaftes, welcher die Nahrungsflüssigkeit der jungen Zelle ist, an und bedingen den Eintritt desselben; die zarte, vielleicht noch nicht vollständig erhärtete Membran dehnt sich in Folge des reichlichen Wassereintritts aus. Nachdem nun die junge Zelle reichlich Wasser enthält, oder vielmehr während in die junge Zelle Wasser eintritt, mischen sich auch gleichzeitig die in der Nahrungsflüssigkeit gelösten Stoffe mit dem Wasser der jungen Zelle, um Gleichgewicht zwischen Außen und Innen herbeizuführen. Die aus dem Embryosackzellsaft in die neugebildete Zelle eintretenden Stoffe sind jedenfalls organischer Natur; wahrscheinlich findet in einer solchen jungen Zelle keine Neubildung organischer Stoffe aus anorganischen statt. Wir wollen uns deshalb eine solche junge Zelle, begabt mit den chemischen Kräften der Pflanzenzelle, in eine Salzlösung versetzt denken, welche sowol hinsichtlich des Gehalts an Stoffen, als auch hinsichtlich der Concentration der gewöhnlichen pflanzlichen Nahrungsflüssigkeit entspricht.

Die Proteinsubstanzen und schleimigen Kohlenhydrate lassen Wasser in die Zelle eintreten; alle in der Nahrungsflüssigkeit gelösten Salze mischen sich mit dem Wasser der Zelle bis zu gleicher Concentration. Es kann sehr leicht wol Gleichgewicht eintreten, dasselbe wird jedoch fortwährenden Störungen unterworfen sein. Ich habe früher einmal gezeigt, wie im endosmotischen Apparate das Gleichgewicht einer Oxalsäurelösung gestört wird, immer neue Mengen Oxalsäure in die Membran-

röhre eintreten, kurz die Oxalsäure sich in der Röhre anhäuft, wenn ich sie daselbst durch Kalk niederschlug: ganz dasselbe findet sich auch in der Pflanzenzelle; hier ist es vorzüglich der Stoffwechsel, welcher das Gleichgewicht eines Stoffes stört und dessen erneuten Eintritt bedingt. Denken wir uns, in der Zelle würde phosphorsaures Kali zur Bildung von Proteinsubstanzen gebunden und verschwinde dadurch aus der Lösung; war nun zwischen dem Zellensafte und der äußern Nahrungsflüssigkeit Gleichgewicht hergestellt in Bezug auf phosphorsaures Kali, so wird das Gleichgewicht in der Zelle gestört, und neue Mengen des Salzes treten ein; kurz je mehr phosphorsaures Kali in der Zelle consumirt wird, um so mehr wird auch aus der äußeren Nahrungsflüssigkeit in sie eintreten, und die hineinbewegende Ursache ist das Streben nach Gleichgewicht.

Es sei in der Nahrungsflüssigkeit kohlensaurer Kalk, durch Kohlensäure gelöst zu saurem kohlensaurem Kalke, enthalten; er tritt in die Zelle ein, um das Gleichgewicht herzustellen. Würde nun diejenige Menge Kohlensäure, welche den kohlensauren Kalk in Lösung erhält, zur Bildung von Kohlenhydraten verwendet, so müßte der vollständig unlösliche kohlensaure Kalk abgeschieden werden und dafür eine neue Menge sauren kohlensauren Kalkes von Außen eintreten. Der in dem Stoffwechsel unlöslich gewordene kohlensaure Kalk häuft sich in der Zelle an. Diesen Vorgang finden wir sehr häufig in der Natur, vorzüglich bei Pflanzen, welche untergetaucht im Wasser vegetiren z. B. bei den Charen, deren Trockensubstanz oft zur Hälfte bis drei Viertel aus kohlensaurem Kalke besteht, während das Wasser, worin sie vegetiren, verhältnißmäßig arm an dem Salze in gelöster Form ist — eine Ablagerung, welche unzweifelhaft den beschriebenen Prozeß zur Ursache hat. Das Gleichgewicht des kohlensauren Kalkes kann auch noch auf manche andere Weise gestört werden. In den Pflanzen bilden sich organische Säuren; diese zersetzen den kohlensauren Kalk, wo sie ihn finden, und weil dieser nun als solcher aus der Lösung verschwindet, müssen neue Mengen eintreten. Ist das organischsaure Kalksalz unlöslich, so wird es natürlich ausgeschieden, wie oxalsaurer Kalk.

Besonders bemerkenswerth ist noch der Fall, wo die Anhäufung eines anorganischen Stoffes in der Zelle durch seine Verbindung mit den Proteinsubstanzen, mit Eiweiß erfolgt. Ob im normalen Leben der Zelle Vorgänge solcher Art vorkommen, wissen wir nicht; einzelne bekannte bedingen den Tod der Zelle. Wenn z. B. in der Nahrungsflüssigkeit schwefelsaures Kupferoxyd gelöst ist, so wird dies, in die Zelle eintretend, mit Eiweiß unlöslich als Kupferalbuminat abgeschieden. So lange Eiweiß in der Zelle vorhanden ist, kann das schwefelsaure Kupfer das

Gleichgewicht nicht herstellen und es treten deshalb immer neue Mengen ein. Ich glaubte dieses Vorganges besonders gedenken zu müssen, weil er sehr einfach eine Beobachtung de Saussure's erklärt, welche man bisher vielfach angestaunt hat, für welche man aber keine genügende Erklärung zu finden wußte. De Saussure fand nämlich, daß schwefelsaures Kupfer, welches doch auf die Pflanzen als Gift wirkt, in weit größerer Menge von lebenden Pflanzen aufgenommen wurde, als irgend ein anderes Salz, mochte es auch sogar zu den Nahrungsstoffen gehören. Der Landwirth benutzt die zellentödtende Wirkung des schwefelsauren Kupfers, um die Sporenzellen der Brandpilze des Weizens, welche den zur Saat bestimmten Körnern anhängen oder im Boden liegen, zu zerstören.

Bilden sich in der Zelle schwerlösliche Stoffe in solcher Menge, daß das Wasser des Zellsaftes sie nicht gelöst zu erhalten vermag, so müssen sie ausgeschieden werden; hierher gehören vorzüglich die organischsauren Kalksalze und der schwefelsaure Kalk.

Die schwerlöslichen Stoffe können auch ausgeschieden werden, wenn der Zellsaft durch Verschwinden von Wasser concentrirt wird. Die Verdunstung des Wassers aus Zellen mag zu solcher Art Ausscheidungen oft Veranlassung geben.

Die in fester Form ausgeschiedenen Stoffe stehen außer Beziehung zur Diffusion. Die ausgeschiedenen schwerlöslichen Stoffe können jedoch wieder aufgelöst werden, sobald die Concentration des noch gelösten Antheiles des ausgeschiedenen Stoffes in der Zelle vermindert wird durch neuen Eintritt von Wasser oder durch Wechselwirkung mit dem Wasser der Nahrungsflüssigkeit, indem auf letzteres von dem gelösten Antheile übertritt. Da wo in einer Zelle nicht mehr eines Stoffes gebildet wird, als durch Diffusion nach Außen auf die Nahrungsflüssigkeit übergeht, kann, wenn der Stoff auch schwerlöslich ist, keine Ausscheidung erfolgen.

Eine sehr häufig vorkommende Ursache der Gleichgewichtsstörung und des erneuten Eintritts von Stoffen in die Zelle ist die Bildung der Proteinsubstanzen und schleimigen Kohlenhydrate, wenn die Zelle sich noch auszudehnen vermag. Mit der Neubildung der genannten Stoffe steht der Eintritt verhältnißmäßig großer Mengen Wasser im Zusammenhange, wodurch die Zelle, wenigstens so lange sie noch jung ist, sich ausdehnt, ihr Hohlraum sich vergrößert und die in ihr enthaltene Lösung an Concentration abnimmt, was dann wieder eine neue Zufuhr aller in der Nahrungsflüssigkeit gelösten Stoffe zur Folge hat, die so lange dauert, bis das Gleichgewicht zwischen Außen und Innen wieder hergestellt ist.

Was ich im Vorhergehenden über die Aufnahme gelöster Stoffe in die Pflanzenzelle an bestimmten Beispielen gezeigt habe, soll in den folgenden Sätzen einen allgemeinen Ausdruck finden.

Aufgelöste Stoffe haben das Bestreben, sich gleichmäßig auf das Lösungsmittel zu vertheilen. Erst wenn auf jede Volumeinheit des Lösungsmittels, in unserm Falle des Wassers, gleiche Mengen jedes einzelnen gelösten Stoffes kommen, ist Gleichgewicht und damit Ruhe eingetreten. Das Wasser der Nahrungsflüssigkeit der Zelle und das Wasser des Zellsaftes bilden, indem durch die Molecularinterstitien der Membran eine Communication zwischen beiden besteht, Ein Ganzes. Die gelösten Stoffe, welche in der Nahrungsflüssigkeit enthalten sind, diffundiren auf das Wasser des Zellsaftes, und wenn sie einen gewissen Grad von Durchgangsfähigkeit besitzen, wird der Gleichgewichtszustand bald außerhalb und innerhalb der Zelle eingetreten sein. Das Gleichgewicht derjenigen anorganischen Stoffe, welche der Pflanze als Nahrung dienen, welche also im Stoffwechsel consumirt werden, erleidet fortwährende Störungen, indem dieselben in der Zelle aus ihrer Lösung verschwinden, um in andrer Form aufzutreten, oder unlöslich ausgeschieden werden, wodurch die Lösung in der Zelle in Bezug auf diese Stoffe gegen die Lösung außerhalb der Zelle an Concentration abnimmt. Aus der äußern nun concentrirteren Lösung treten neue Mengen des ausgeschiedenen oder verschwundenen Stoffes ein, um das Gleichgewicht wieder herzustellen. So lange wie in der Zelle der Stoffwechsel in Thätigkeit ist, erfolgt der Eintritt der consumirt werdenden Stoffe von außen. Außer, daß die Ausscheidung durch Aufgehen im Stoffwechsel erfolgt, kann dieselbe auch durch gegenseitige Zersetzung der in die Zelle eingetretenen und daselbst neugebildeten Stoffe geschehen, wenn das Product der Zersetzung unlöslich ist. Schließlich kann die Ausscheidung auch durch Concentration des Zelleninhaltes, des Zellsaftes erfolgen, wobei aber keine neuen Mengen des ausgeschiedenen Stoffes eintreten.

Die Aufnahme gelöster anorganischer Stoffe (Nahrungsstoffe der Pflanze) in die Zelle steht in nächster Beziehung zum Verbrauch derselben im Stoffwechsel und ihre Ursache ist das Streben nach Gleichgewicht. Es bedingt also

der Stoffwechsel — die Aufnahme der gelösten Stoffe von außen

und nicht, wie man bisher glaubte,

die Verdunstung — die Aufnahme.

Alle in der äußern Nahrungsflüssigkeit gelösten Stoffe, mögen sie der Pflanze als Nahrung dienen oder als Gift auf sie wirken, treten in

die Zelle ein, und diejenigen, welche nicht unlöslich ausgeschieden, nicht in eine andre Form umgewandelt werden, wenigstens so lange, bis sie eine Concentrationsausgleichung zwischen Außen und Innen herbeigeführt haben: alle Stoffe also treten ein, vorausgesetzt, daß ihre Durchgangsfähigkeit groß genug ist. Den anorganischen Stoffen steht, so weit ich ihre Diffusion kenne, kein Hinderniß entgegen; manche organischen Stoffe werden indeß nicht in die Zelle einzutreten vermögen, wie dies z. B. für die Humussäuren wahrscheinlich ist, die wol in die Membran eindringen, aus ihr sich jedoch nicht hinausbewegen und in den Zelleninhalt übertreten. Ich erinnere an den früher mitgetheilten Versuch mit Moorerde.

Was das angebliche Vermögen der Pflanze, die ihr nöthigen Stoffe auszuwählen — Wahlvermögen —, zu bedeuten hat, ist uns klar geworden; es existirt als eine der Pflanze specifische Eigenschaft nicht; die Pflanze als Individuum bleibt bei der Aufnahme passiv. Ich habe schon mitgetheilt, daß Pflanzen sogar Gifte aufnehmen, wenn sie in ihrer Nahrungsflüssigkeit vorkommen. Knop fand, daß Pflanzen aus einem Boden, der Baryt enthielt, diesen aufnahmen, also einen Stoff, welcher durchaus kein Nahrungsmittel ist. Schon Scheele fand den Baryt als natürlich vorkommenden Bestandtheil der Pflanzaschen; Eckard denselben neuerdings in Buchen aus der Nähe Göttingens; der bunte Sandstein, worauf diese Buchen standen, fand Lutterkorth barythaltig. Wittstein und Apoiger fanden sogar in den Samen der Maesa picta (das abyssinische Bandwurmmittel Saoria) Borsäure; u. s. w. Die Pflanze macht also durchaus keinen Unterschied in den Stoffen; sie nimmt das auf, was ihr geboten wird, und mag sie auch darüber zu Grunde gehen.

Wir haben bis jetzt nur von dem endosmotischen Diffusionsstrome der Pflanzenzelle gesprochen; es fragt sich nun, ob auch Stoffe aus der Zelle auszutreten vermögen, ob auch ein exosmotischer Diffusionsstrom vorhanden ist. Gleichwie das Gleichgewichtsstreben der gelösten Stoffe in der Nahrungsflüssigkeit den endosmotischen Strom erzeugt, ebenso wird ein exosmotischer Strom entstehen, wenn in der Zelle gelöste Stoffe enthalten sind, welche sich mit der äußern Flüssigkeit in's Gleichgewicht setzen müssen, d. h. Stoffe, welche gar nicht in der äußeren Nahrungsflüssigkeit oder doch nur in geringerer Concentration darin enthalten sind. Hierher gehören die in der Zelle neugebildeten Stoffe, die Proteinsubstanzen, Kohlenhydrate, Säuren, Salze u. s. w. Zucker, in der Zelle gebildet, tritt leicht aus ihr in die äußere Nahrungsflüssigkeit

aus, um den Gleichgewichtszustand zwischen Innen und Außen herzustellen; eben so ungebundene Säuren, lösliche Salze und Alkaloide.

Anders ist es mit den schleimigen Kohlenhydraten und den Proteinsubstanzen; diese bewegen sich nur äußerst schwer durch permeable Membrane, mithin auch äußerst schwer durch die Membran der Pflanzenzelle; sie haben wol das Streben nach Ausgleichung, indeß können nur sehr geringe Quantitäten von ihnen die Zelle verlassen, während sie sich in der Zelle anhäufen und größere Mengen Wasser in sie einführen.

Ich habe früher gezeigt, daß geschlossene Membrane, wenn sie Stoffe mit großem endosmotischen Aequivalente enthalten, bei der Diffusion in Spannung versetzt werden und drückend auf den exosmotischen Strom wirken, denselben verstärken; ganz dasselbe werden wir auch bei der Pflanzenzelle finden. Bei jungen proteinreichen Zellen ist der endosmotische Strom so stark, daß die Zellenmembran in Spannung versetzt wird und sich dadurch ausdehnt. Die Spannung kann oft sogar so weit gehen, daß die Membran zerreißt, wie man Das nicht selten unter dem Mikroskope beobachtet, wenn Zellen, die normal auf eine concentrirtere Nahrungsflüssigkeit angewiesen sind, mit reinem Wasser in Berührung kommen. Kommen Pollenzellen mit Wasser in Berührung, so treiben sie schnell ihre Schläuche, die dann schließlich zerplatzen — eine Erscheinung, welche in der Natur sehr häufig bei anhaltendem oder starkem Regen vorkommt. Das Hervorwachsen der Pollenschläuche ist in diesem Falle eine rein mechanische Ausdehnung, welche so schnell vor sich geht, daß die Membran des Schlauches sich nicht in ihrer Wandung zu verdicken vermag; anders ist es bei der normalen Ernährungsflüssigkeit der Pollenzelle, dem Zelleninhalte des leitenden Narbengewebes nämlich, dieser ist concentrirt, nicht so sehr verschieden von dem Inhalte der Pollenzelle hinsichtlich der gelösten Stoffe, so daß eine langsamere Diffusion und damit auch ein langsameres Hervortreiben des Pollenschlauches stattfindet.

Ein interessantes Beispiel der Ausdehnung einer Zellenmembran liefert uns Ulotrix zonata[1]). Die Mutterzelle erzeugt zwei Tochterzellen, welche in der Mutterzelle wachsen und dieselbe ausdehnen, ohne daß sie resorbirt wird oder zerreißt. Die Tochterzellen wachsen so lange, bis sie ungefähr die Größe der Mutterzelle, bei welcher sie neue Zellen bildete, erlangt haben; es erzeugt nun jede der Tochterzellen wieder zwei neue Zellen, welche in ihr fortwachsen und ihre Mutterzelle mit der ursprünglichen Mutterzelle ausdehnen und wieder neue Zellen bilden. Die Mutterzelle umschließt also ihre Tochterzellen und Enkelzellen. So geht die

---

[1]) Schacht, Lehrbuch der Anat. u. Phys. der Gewächse. 1. Th. S. 92.

Zellenbildung viele Generationen fort, mit jeder Generation wächst der Faden; die älteren Zellen dehnen sich immer mehr aus, wobei deren Membrane, weil sie sich bei der Ausdehnung nicht verdicken, auch immer dünner werden.

Bei dem Wachsthume der Zelle sind es zwei Momente, welche hauptsächlich in Betracht kommen: die mechanische Ausdehnung der Zellenmembran durch Diffusion und die Verdickung der Zellenwand. Zuerst dehnt sich die Zellenmembran auf die obenbeschriebene Weise aus d. h. durch einen starken endosmotischen Strom; nun lagern sich aus dem Protoplasma neue Schichten auf die innere Wand der Membran ab. Es ist dieser Vorgang nicht wesentlich verschieden von der Bildung der primären Zellenmembran. Das Protoplasma enthält ein flüssiges oder halbflüssiges Kohlenhydrat, dessen nächste Uebergangsstufe Cellulose ist. Dieses scheint sich in der äußersten Schicht des Protoplasma auszuscheiden, wo es dann allmälig aus dem schleimigen Zustande in den erhärteten, in Cellulose übergeht und dann eine Haut, die primäre Membran bildet. Man hat bei den Schwärmsporen mancher Algen diese Uebergangsperiode oft angetroffen, wo sich nämlich um das Protoplasma und den Cytoblasten ein schleimiger Ueberzug gebildet hatte, welcher noch nicht die Reactionen auf Cellulose, wohl aber auf Stärkemehl gab. Auf dieselbe Weise scheiden sich aus dem Protoplasma einer fertigen Zelle zellstoffartige Stoffe aus, welche sich der innern Wand der primären Membran anlagern und dieselbe verdicken.

Bei starkgespannter Zellenmembran wird auch der exosmotische Strom stärker sein und Stoffe aus der Zelle in größerer Menge gleichsam hinauspressen, deren geringe Durchgangsfähigkeit unter gewöhnlichen Verhältnissen den Austritt nur äußerst geringer Mengen gestattet, wie Gummi, Eiweiß u. s. w.

In dem endosmotischen Strome, wenn eine einzelne Pflanzenzelle sich in ihrer Nahrungsflüssigkeit befindet, wie die einzelligen Algen und Pilze, bewegen sich vorzugsweise anorganische Stoffe — Salze und Wasser —, in dem exosmotischen Strome die in der Zelle neugebildeten Stoffe — organische Substanzen. Wie die Bildung organischer Stoffe geschieht, davon haben wir bis jetzt noch keine Ahnung, und hat man auch von der Nothwendigkeit bestimmter anorganischer Stoffe zur Bildung gewisser organischer, z. B. der Phosphorsäure zur Bildung der Proteinsubstanzen, gesprochen, so sind Das doch nur gewagte Vermuthungen.

Zellen im Zusammenhange.

Die Diffusionsverhältnisse einer einzelnen in ihrer Nahrungsflüssigkeit sich befindenden Zelle sind, wie wir gesehen haben, einfach; wo hingegen sich viele Zellen zu einem Pflanzenindividuum vereinigen, werden die Verhältnisse mannigfaltiger und complicirter. Pflanzen, bei welchen alle Lebensfunctionen, Selbsterhaltung und Fortpflanzung, in Eine Zelle zusammengedrängt sind, haben eine wahrscheinlich auf der ganzen Oberfläche für Flüssigkeiten durchdringbare Membran, wobei dann die Aufnahme an allen Punkten der Oberfläche geschehen wird, so bei den meisten einzelligen Algen und Pilzen, Protococcus und Gährungspilz; bei einzelnen Arten dieser Pflanzengruppe sind vielleicht nur gewisse Stellen der Membran zur Aufnahme geeignet, wie bei Caulerpa prolifera — die der Diffusion vorwiegend dienenden Membranstellen dehnen sich fortwährend aus, wachsen, verzweigen sich und gestalten sich so zu wurzelartigen Gebilden.

Die einfachsten mehrzelligen Pflanzen sind die fadenförmigen Algen — Conferven —, welche aus einer einfachen Reihe aneinanderhängender Zellen bestehen. Hier sind die einzelnen Zellen in ihrer physiologischen Thätigkeit noch gleich; jede Zelle läßt sich noch als ein selbstständiges Individuum betrachten; die Diffusion aus einer Zelle in die andere, wie wir sie gleich werden kennen lernen, ist nicht von wesentlicher Bedeutung; jede Zelle nimmt Nahrungsstoffe aus dem umgebenden Medium auf und verarbeitet sie.

Höher im Pflanzenreiche hinaufsteigend treffen wir bald auf Zellencomplexe, deren einzelne Zellen schon von einander abhängig sind, partienweise verschiedene Verrichtungen haben und sich meist auch schon in ihrer Form und in ihrem anatomischen Baue unterscheiden. Die Florideen lassen schon eine Rindenschicht und eine Markschicht unterscheiden, wenn auch die Zellen beider Schichten noch wenig verschieden sind. Mehr tritt diese Verschiedenheit bei den verwandten Fucoiden hervor — Pflanzen, welche meist eine flächenartige Form haben und im Wasser leben. Bei ihnen besteht die Mittelschicht aus fadenförmigen, oft gallertartigen, lockerverbundenen Zellen, während die Rindenschicht aus dichtgedrängten, kleinen und mehr oder weniger runden Zellen gebildet wird. Die Zellen der Rindenschicht stehen mit dem umgebenden Wasser in Berührung und zwar zunächst die oberflächlichste Zellenlage; zwischen

dem Inhalte dieser Zellen und dem Wasser treten Diffusionsströmungen ein, welche die im Wasser gelösten Stoffe (anorganische) in die Zelle einführen. Von diesen Zellen geht die Diffusion auf die angrenzenden über. Der flüssige Inhalt sich fest berührender Zellen steht durch die Molecularinterstitien ihrer Membrane in Zusammenhang; besteht zwischen dem Inhalte solcher Zellen eine chemische und quantitative Ungleichheit, so muß hier eine Ausgleichung der gelösten Stoffe eben so nothwendig stattfinden, wie auch zwischen dem Inhalte einer einzelnen alleinstehenden Zelle und der sie umgebenden Nahrungsflüssigkeit. In unserem Falle wird also die Ausgleichung von den oberflächlichsten Zellen der Rindenschicht von Zelle zu Zelle durch die Rindenschicht bis in die Mittelschicht weiter gehen und gelöste Stoffe aus dem Wasser in die Pflanze einführen. In den Zellen der Markschicht der Fucoiden findet der lebhafteste Stoffwechsel statt; wenn nun in diesen Zellen ein gewisser anorganischer Stoff im Stoffwechsel aufging und ihr Inhalt in Bezug auf diesen Stoff an Concentration gegen den Inhalt der angrenzenden Zellen abnähme, so müssen aus letzteren neue Mengen des Stoffes in die ersteren eintreten, um das Gleichgewicht zwischen beiden wieder herzustellen; indem so von Zelle zu Zelle die ausgleichende Diffusionsströmung weiter geht, wird sie bis zur Nahrungsflüssigkeit gelangen, aus welcher dann neue Mengen in die Pflanze eintreten. Je größer der Verbrauch eines Stoffes in der Markschicht ist, um so mehr wird von demselben aus der Nahrungsflüssigkeit in die äußersten Zellen der Rindenschicht eintreten, von hier aus nach dem Orte seiner Consumtion diffundiren. Die ganze Oberfläche mancher Fucoidenpflanze scheint jedoch nicht der Aufnahme zu dienen; man findet nämlich oft die oberflächlichen Zellen der Rindenschicht mit Cuticula überzogen, wodurch die Zellen jedenfalls impermeabel geworden sind; wahrscheinlich besteht diese Cuticulaausscheidung nur in den älteren Parthien der Pflanze, wogegen dann die jüngern Parthien noch frei sind und die Aufnahme der flüssigen Nahrungsstoffe allein besorgen. Daß von den jüngeren diffusionsfähigen Parthien aus alle übrigen Theile der Pflanze, wenn sie durch lebensthätige Zellen mit den ersteren in Verbindung stehen, mit Nahrungsstoffen versehen werden können, bedarf wol kaum der Erwähnung mehr. Bei solchen Fucoiden würden wir also eine in der Längsrichtung der Pflanze, von dem jüngern Theile zum ältern gehende Strömung finden.

Die Aufnahme der flüssigen Nahrungsstoffe in die Pflanze und die Verbreitung derselben durch die ganze Pflanze ist bei höherorganisirten Pflanzenfamilien gar nicht anders, als wir sie so eben kennen gelernt haben; auch ist selbstverständlich die bewegende Ursache hier wie dort

dieselbe. Bei den meisten höherorganisirten Pflanzen finden wir indeß nur einzelne Zellenpartbien, welche allein mit der Nahrungsflüssigkeit in Berührung sind und der Aufnahme der flüssigen Stoffe vorstehen, die Wurzel —; andere Zellenpartbien dienen vorzugsweise der Weiterführung der durch die Wurzeln aufgenommenen Stoffe. Die eigentliche, echte Wurzel tritt zuerst bei den Farrnkräutern auf und besteht aus mehreren verschiedenartigen Gewebspartbien, die noch nach Außen von einer Lage abgeplatteter, meist zu Haaren sich verlängernder Zellen — Wurzelhaare — begrenzt sind. Der Inhalt dieser Zellen diffundirt zunächst mit der Nahrungsflüssigkeit; die in die Zellen eingeführten Stoffe gehen auf die angrenzenden Zellen über, um weiter in die Pflanze hineingeführt zu werden. Auch bei den Moosen findet man langgestreckte, haarförmige Zellen, welche man als Wurzelhaare ansehen kann, die sich jedoch überall aus dem Stamme entwickeln, wo er mit Wasser in Berührung kommt — echte Wurzeln sind es nicht.

Um die Verbreitung der flüssigen Stoffe durch die Pflanze verfolgen zu können, müssen wir uns zuerst mit der Aufnahme der gasförmigen Stoffe und deren Ausscheidung beschäftigen, insofern beide durch die Blätter und sonstigen Stammorgane erfolgen. Von der Wurzel können gasige Stoffe nur dann aufgenommen werden, wenn sie im Wasser gelöst sind.

Aufnahme und Ausscheidung gasförmiger Stoffe durch die Blätter.

Bei den meisten, besonders höheren Pflanzen finden wir überhaupt, daß die einzelnen Zellenpartbien sich wesentlich verschieden gestalten und verschieden functioniren: derjenige Theil, welchen wir Wurzel nennen, befindet sich stets mit der Nahrungsflüssigkeit in Berührung; ein andrer Theil macht flächenartige Ausbreitungen — Blätter — erhebt sich in der Regel in die Luft und dient dann ebensowohl der Aufnahme gasförmiger Stoffe, als er auch solche aus der Pflanze ausscheidet; der letzte kann sich indeß auch in der Nahrungsflüssigkeit befinden und dann nur der Aufnahme flüssiger Nahrungsstoffe dienen. Es muß demnach die Lebensweise der Pflanzen verschieden sein, jenachdem sich nämlich Wurzel und Blatt in verschiedenen Medien — Wasser und Luft — oder in Einem von beiden befinden.

Wie wir früher gesehen haben, giebt eine mit wässriger Flüssigkeit gefüllte permeable Membran, sobald sie in der Luft sich befindet, Wasser

in Dunstform an die Atmosphäre ab. Die atmosphärische Luft hat bekanntlich das Bestreben, dunstförmiges Wasser so lange in sich aufzulösen, bis sie sich damit gesättigt hat; der Sättigungspunkt ist verschieden und hängt ab von der Temperatur: je wärmer die Luft ist, um so mehr Wasser vermag sie in Dunstform in sich aufzunehmen. Je relativ geringer der Gehalt der Luft an Wasser ist, um so mehr Wasser verdunstet aus permeablen Membranen. Zellen können ihr Wasser ganz verdunsten und eintrocknen. Verdunstet bei einem Zellencomplexe ein Theil der Zellen — Blätter —, während der andere Theil mit Wasser in Berührung steht — Wurzel —, so wird das verdunstende Wasser mehr oder weniger ersetzt. Ob das verdunstende Wasser ganz oder theilweise ersetzt wird, hängt davon ab, ob die aufnehmende Fläche der Wurzeln in einem passenden Verhältniß zur verdunstenden Fläche steht; ist die erstere gegen die zweite zu gering, so kann unter der Verdunstung günstigen Umständen, nämlich bei einem relativ geringen Feuchtigkeitsgehalt der Luft und bei höhern Temperaturgraden, mehr Wasser verdunsten als die Wurzel aufzunehmen vermag; die Pflanze welkt. Wie diese Vorgänge zu Stande kommen, zeigte sehr anschaulich der früher mitgetheilte Versuch mit einer Collodiumröhre, bei welcher ein Theil der Luft ausgesetzt war und verdunstete, während der andere sich in einer verdünnten Salzlösung befand und Wasser aufnahm. In der Membran und außerhalb derselben befand sich eine gleichconcentrirte Lösung eines Salzes; der gelöste Stoff stand mithin außerhalb und innerhalb der Membran in Gleichgewicht. Die Lösung in der Membran wurde concentrirter, wenn Wasser aus ihr verdunstete, und um das Gleichgewicht wieder herzustellen, trat aus der äußern Flüssigkeit Wasser in die Membran ein. Das Gleichgewicht der Lösung blieb innerhalb und außerhalb der Membran constant, wenn das aus der Membran verdunstete Wasser der äußern Flüssigkeit wieder ersetzt wurde; sie concentrirte sich allmälig, wenn Dies nicht geschah, jedoch so, daß das Gleichgewicht innerhalb und außerhalb immer wieder hergestellt wurde. Besonders leicht kann das Wasser, welches aus der Membran verdunstet, von Außen aufgenommen werden, wenn die innere Lösung Eiweiß oder ein schleimiges Kohlenhydrat gelöst enthält; in Bezug auf sie tritt freilich kein Gleichgewicht zwischen Innen und Außen ein, weil sie sich nur äußerst schwer aus der Membran hinausbewegen können; sie bleiben in der Membran, in der Zelle, führen aber Wasser in reichlichster Menge ein. Enthält eine Membranröhre die Lösung solcher Stoffe, so kann die aufnehmende Fläche gegen die verdunstende klein sein, um das verdunstete Wasser wieder zu ersetzen. Wie wichtig diese Stoffe für das Leben der Pflanze

sind, läßt sich aus dem Gesagten leicht ermessen; sie sind es, die am kräftigsten den Wirkungen der Verdunstung bei den Landpflanzen, Concentrirung des Zelleninhaltes, Verwelken und Vertrocknen entgegenwirken und bewirken, daß die gegen die verdunstende Fläche verhältnißmäßig kleine Wurzelfläche genügt, um das verdunstende Wasser wieder in die Pflanze einzuführen.

Aehnlich wie bei dem obenbesprochenen Experimente verhält sich die Verdunstung auch bei der Pflanze. Nur die mit der Luft direct in Berührung stehenden Zellen verdunsten; ihr Inhalt concentrirt sich und nimmt Wasser aus den benachbarten Zellen auf, um das Gleichgewicht herzustellen; auf dieselbe Weise geht die Ausgleichung von Zelle zu Zelle weiter, bis sie, in den zur Aufnahme bestimmten Zellen anlangend, neue Mengen Wasser aus der Nahrungsflüssigkeit eintreten macht. Verdunstung und Aufnahme von Wasser durch die Wurzeln stehen mithin in Verbindung. Die Verdunstung hat eine moleculare Strömung durch die Pflanze zur Folge, welche aus den verdunstenden Zellen zu der mit der Nahrungsflüssigkeit in Berührung stehenden geht.

Bei den niedrig organisirten Pflanzen, bei Pilzen und Flechten, ist wahrscheinlich die ganze Oberfläche verdunstend, während bei höheren Pflanzen gerade die Zellen der Oberfläche nach Außen durch Cuticula impermeabel sind, die verdunstenden Zellen aber an Höhlungen und Gängen — Athemhöhlen und Intercellulargängen — unter der Oberhaut im Innern der Blätter und der Rinde liegen. Bei einem Lebermoose (Marchantia) findet man in dem Blatte einfache, nach Außen geöffnete Grübchen, die den Athemhöhlen anderer Pflanzen entsprechen. Bei fast allen anderen Pflanzen münden die Athemhöhlen und die Luftgänge in einen Spalt, der durch zwei Zellen von mehr oder weniger halbmondförmiger Gestalt gebildet wird — Spaltöffnungen —. Die Intercellulargänge kommen aus dem Parenchym des Blattes und der Rinde und münden entweder direct in eine Spaltöffnung oder sie münden in eine Athemhöhle. Die beiden Schließzellen der Spaltöffnung wurden nie mit Cuticularschichten bedeckt gefunden, weshalb dieselben stets permeabel bleiben.[1]) Aus dieser Ursache und weil die physikalischen Processe, welche die Verdunstung verursachen, leicht auf sie einwirken, müssen sie leicht das Wasser verdunsten. Hieraus erklärt sich, weshalb die Spaltöffnungen sich erweitern und verengern. Enthält die Luft relativ wenig Feuchtigkeit, so verdunsten die Schließzellen mehr Wasser, als ihnen zugeführt wird, nehmen in ihrem Umfange ab, wodurch dann der Spalt zwischen ihnen

[1]) Schacht, Anat. und Phys. der Gewächse. 1. Theil S. 278.

größer wird; ist die Verdunstung weniger stark, wie dies bei einem relativ großen Gehalt der Luft an Feuchtigkeit der Fall sein wird, so kann sich das Wasser in ihnen anhäufen und sie anschwellen machen, wodurch der Spalt sich verengert, sogar zu schließen vermag.

Die Spaltöffnungen treten zuerst bei den Lebermoosen auf. Sie sind überhaupt nur bei jenen Pflanzentheilen vorhanden, welche sich in die Atmosphäre erheben. Wie ich vorhin schon andeutete, können Blätter und blattartige Zellenausbreitungen auch in der Nahrungsflüssigkeit untergetaucht vorkommen; sie besitzen dann keine Spaltöffnungen und weil in diesem Falle die Zellen der Oberfläche nicht mit Cuticularschichten überzogen sind, müssen sie der Aufnahme der flüssigen Nahrungsstoffe dienen. An der Luft verdunsten die Wasserblätter ihr Wasser sehr rasch, können dasselbe aber auch eben so schnell wieder aufnehmen, wenn sie von Neuem mit Wasser in Berührung kommen.

Ob die Pflanze auch Wassergas aufzunehmen vermöge, ist eine Frage, welche meistens, wenigstens für gewisse Pflanzen, bejaht wird; dennoch dürfte die Sache vorläufig sehr zu bezweifeln sein. Es giebt wol Pflanzen, bei welchen aller Anschein dafür spricht, daß sie den Wasserdunst der Atmosphäre entziehen und in sich verdichten, so z. B. Tradescantia albifera, deren unterer Stengeltheil oftmals gänzlich abgestorben ist, während der obere Theil der Pflanze noch vollständig fortlebt, manche tropische Orchidee, so die auf nackten und trocknen Felswänden lebenden Flechten, manche Lebermoose. Daß diejenigen Zellen, welche Wasser verdunsten und so lange sie noch Wasser zum Verdunsten haben, kein Wassergas aus der Atmosphäre aufzunehmen vermögen, liegt auf der Hand; so lange die Atmosphäre nicht mit Feuchtigkeit gesättigt ist, müssen sie unbedingt durch ihre Membrane Wasser verdunsten, und es ist eine physikalische Unmöglichkeit, daß sie gleichzeitig auch Wasserdunst durch ihre Membran aufnehmen. Eher würde sich die Sache durch Vorhandensein poröser Apparate erklären lassen, welche, ähnlich wie poröse Kohle, Wasserdunst aus der Atmosphäre in ihren Poren verdichten. Unter den Pflanzengeweben wäre der Kork vielleicht allein hierzu geeignet, und müßte man an ihn denken, wollte man die besprochene Theorie aufrecht erhalten; indeß spricht der Umstand sehr dagegen, daß man bei jenen Pflanzen und Pflanzenorganen, welchen man die wassergasverdichtende Thätigkeit zuschreibt, den Luftwurzeln der Orchideen, dem Thallus der Flechten u. s. w. keinen Kork findet. Am wahrscheinlichsten ist es, daß diesen Pflanzen das Wasser durch einen rein meteorischen Proceß zugeführt wird, durch die Thaubildung. Während des Tages wird die Luft durch die Sonne erwärmt, sie nimmt Wasser in sich auf; bei Nacht,

oder wenn überhaupt eine starke Temperaturerniedrigung stattfindet, schlägt sich aus der viel Wassergas enthaltenden Atmosphäre das Wasser in flüssiger Form auf Pflanze, Boden und Fels, welche die bei Tage empfangene Wärme des Nachts schnell ausstrahlen und erkälten, nieder, und wird nun von den Zellen der Pflanze leicht aufgenommen, die es dann bei Tage wieder verdunsten. Solche Pflanzen gedeihen überhaupt auch nur in einer sehr feuchten Atmosphäre, in der Tropenzone mit thaureichen Nächten, und wo, wegen des relativ hohen Feuchtigkeitgehaltes der Luft, auch selbst bei Tage die Verdunstung nicht sehr groß sein kann. Den Flechten, deren ganze Oberfläche permeabel ist, kann auf diese Weise leicht das zum Leben nöthige Wasser zugeführt werden. Bei Pflanzen mit einem Intercellularsystem dürfte die Capillarität der Intercellulargänge von wesentlicher Bedeutung sein; dieselben werden das tropfbarflüssige Wasser, welches als Thau auf die Blätter niederschlägt, und welches mit den Spaltöffnungen in Berührung kommt, eben so gut durch Capillarattraction weiter fort, d. h. in das Innere der Pflanze führen, wie in jeder anderen Capillarröhre Flüssigkeiten steigen. Die auf dürren tropischen Wüsten lebenden saftigen Pflanzen, wie Cacteen und Aloearten, verdanken ihr Wasser nur der Thaubildung. Auf dieselbe Weise können die Pflanzen auch in unserer Zone Wasser und die in ihm gelösten Stoffe aufnehmen, wenn die atmosphärische Feuchtigkeit sich zu Thau gestaltet, und es erklärt sich hieraus vielleicht die günstige Wirkung des Gypsens auf den Klee, wenn der Gyps auf die Blätter gestreut wird und darauf Thau eintritt. Der Thau führt bekanntlich pflanzliche Nahrungsstoffe, welche er mithin auch der Pflanze zuführt. Boussingault fand in künstlich gebildetem Thaue, welcher sich an einem kalten Glasgefäß aus der Luft niederschlug, Ammoniak, Kohlensäure und Salpetersäure; auf Ein Liter Thauwasser kamen 10,8 Milligramme Ammoniak.

Ich bin fest überzeugt, daß den Pflanzen kein specifisches Vermögen, das Wassergas aus der Atmosphäre aufzunehmen und zu condensiren, zukommt, wie dies häufig von den Pflanzenphysiologen angenommen wird. So sagt Schacht noch[1]), daß die ganze Oberfläche der Lebermoose Wasserdunst aus der Atmosphäre aufnehme, aber auch eben so leicht wieder abgeben könne; Lebermoose sollen deshalb nur in einer feuchten Atmosphäre gedeihen, in Wasser gelegt, soll der über dem Wasser befindliche Theil vertrocknen, unter einer Glasglocke mit feuchter Luft gedeihen sie aber vortrefflich. Wie gesagt, es ist eine physikalische

[1]) A. a. O. Seite 404.

Unmöglichkeit, daß eine Zelle, die Wasser durch ihre Membran verdunstet, auch Wasserdunst aufzunehmen vermöge, so lange sie noch Wasser enthält, und dies ist doch bei den verdunstenden Zellen der Flechten und Lebermoose der Fall. Es ist die Verdunstung aus einer Zelle gar nicht anders, als die Verdunstung an einer freien Wasserfläche: bei der Zelle verdunstet das Wasser aus den Molecularinterstitien der Membran; so lange die Zelle noch tropfbarflüssiges Wasser enthält, dringt es in die Molecularinterstitien der Membran hinein, um sich in Gasform mit der Luft zu mischen; so lange die Atmosphäre nicht mit Wassergas gesättigt ist, so lange verdunstet Wasser. Wenn der über dem Wasser befindliche Theil des Lebermooses eintrocknet, so ist Dies ein sichrer Beweis, daß die Zellen der Lebermoosoberfläche stark verdunsten; aber deshalb und weil das Lebermoos in einer feuchten Atmosphäre unter der Glasglocke gedeiht, ist es noch nicht nöthig, daß die verdunstende und Wasser enthaltende Zelle auch Wasserdunst aufnehme, um das verdunstende Wasser wieder zu ersetzen. Wenn das Lebermoos in der feuchten Atmosphäre der Glasglocke gut vegetirt, so scheint Das unzweifelhaft darin begründet zu sein, daß die Lebermooszellen wenig oder gar kein Wasser an die mit Wasserdunst nahezu oder vielleicht ganz gesättigte Atmosphäre der Glasglocke abgeben. Dennoch ist unter der Glasglocke ein Kreislauf des Wassers möglich, nämlich aus der Zelle in die Atmosphäre und aus dieser wieder in die Zelle: bei der wärmeren Tageszeit verdunstet das Wasser aus der Zelle in die Atmosphäre, bis diese sich mit Wassergas gesättigt hat; bei kälteren Tageszeiten, wo das Maximum der Luftfeuchtigkeit kleiner wird, muß ein Theil des Wassergases wieder in tropfbar flüssiger Form ausgeschieden werden, und kommt es dann mit den Zellen in Berührung, so wird es von diesen wieder aufgenommen. Das Wasser wird demnach nur in tropfbarflüssiger Form von den Zellen aufgenommen, nicht als Gas.

Auch directe Versuche haben bewiesen, daß Pflanzen keinen Wasserdunst aufnehmen. So Duchartre[1]), Knop und Sachs. W. Knop[2]) brachte eine Zwergbohne mit ihren Blättern unter eine Glasglocke, deren Luft mit Feuchtigkeit gesättigt war; unter diesen Umständen verdunstete das Blatt noch immer Wasser, wenn auch nur kleine Mengen. Trat die Pflanze noch Wasser an die gesättigte Atmosphäre ab, so hat das etwas Auffallendes; es läßt sich indeß dadurch erklären, daß die

[1]) Compt. rend. 1. Févr. 1858.

[2]) Die landwirthschaftlichen Versuchsstationen. 3. Heft. Knop, Ein Vegetationsversuch.

Temperatur während des Versuchs stieg, hiermit die Sättigungscapicität eine größere wurde und neue Mengen Wasser verdunsten mußten, um die Sättigung wieder herzustellen, und daß hierzu ebensowol die Pflanze als auch das Wasser, welches die Glocke sperrte, ihren Beitrag geliefert haben. Auch die Wurzeln haben die Fähigkeit nicht, Wasserdunst aufzunehmen, wie dies Julius Sachs[1]) nachgewiesen hat. Eine Camellie, deren Wurzeln sich in einer mit Wasserdunst gesättigten Atmosphäre befanden, gab noch Wasserdunst an die Atmosphäre ab. Die Ursache dieser Erscheinung wird dieselbe sein, wie auch bei dem Knop'schen Versuche.

Aehnliche Resultate, wie hier, würde man gewiß auch bei directen Versuchen mit jenen Pflanzen erhalten, denen man eine wasserdunstaufnehmende Kraft zuschreibt.

Alle anderen in der atmosphärischen Luft enthaltenen Gase können von den mit ihr in Berührung stehenden Zellen aufgenommen werden. Die für die Pflanzenphysiologie wichtigsten sind Kohlensäure, Ammoniak, Stickstoff und Sauerstoff. In der ersten Abtheilung dieses Schriftchens habe ich gezeigt, wie Kohlensäure und Ammoniak durch Membrane in Wasser übergehen. Das Wasser, mag es eine freie Oberfläche darbieten oder in den Molecularinterstitien einer Membran enthalten sein, hat das Bestreben, das mit ihm in Berührung kommende Gas in sich aufzulösen und, einmal gelöst, nach den Gesetzen der Hydrodiffusion über seine ganze Masse zu verbreiten. Ebenso muß es sich auch mit der Zelle verhalten. Bei denjenigen Pflanzen, wo noch kein Intercellularsystem vorhanden ist, wie Flechten, Pilze und einzelne Moose, ist die ganze Oberfläche geeignet, die gasigen Stoffe aufzunehmen; wo hingegen Intercellulargänge vorhanden sind, dringt die atmosphärische Luft in diese ein und die Gase werden von hier aus in die Zellen eingeführt. Höchst wahrscheinlich werden die Gase nach dem Grade ihrer Löslichkeit in die Zelle und in die Pflanze eintreten: das Ammoniak, wovon 500 Volum sich in 1 Volum Wasser auflösen, muß energischer und leichter in die Pflanzenzelle eindringen als Kohlensäure, wovon sich nur ein gleiches Volum in Wasser löst. Die Zelle nimmt so lange von dem Gase auf, bis ihr Wasser sich damit gesättigt hat. Wasser löst von Sauerstoff $^1/_{16}$, von Stickstoff $^1/_{24}$ seines Volums, dieserhalb und weil die genannten Gase in hinreichender Menge mit der Pflanze in Berührung kommen,

---

[1]) Die landwirthschaftlichen Versuchsstationen. Heft 4. Jul. Sachs, Wurzelstudien II.

kann das Wasser der Pflanze sich leicht damit sättigen; dasselbe gilt vielleicht auch noch von der Kohlensäure; eine Sättigung mit Ammoniak oder mit kohlensaurem Ammoniak, wie es in der Atmosphäre und im Boden vorkommt, ist indeß ganz unmöglich. Es darf hierbei nicht vergessen werden, daß Kohlensäure und Ammoniak auch durch die Wurzel aus der Nahrungsflüssigkeit der Pflanze zugeführt werden. Die Aufnahme gasförmiger Stoffe durch die Blätter aus der Atmosphäre ist also einfach. Die mit der Luft direct in Berührung stehenden permeablen Zellen lösen die Gase auf, von hier aus verbreiten sie sich von Zelle zu Zelle durch die Pflanze wie jeder andere gelöste Stoff. Sie haben auch das Bestreben, sich in's Gleichgewicht zu setzen; geht ein gewisses Gas im Stoffwechsel auf, so wird das Gleichgewicht gestört, und die Ausgleichung bedingt den Eintritt neuer Mengen u. s. w. Der Eintritt der Gase, so lange das Wasser mit ihnen nicht gesättigt ist, wird natürlich unabhängig von einer Gleichgewichtsstörung erfolgen. Nach dem Gesagten kann es keinen Zweifel erleiden, daß Ammoniak, ebenso wie die Kohlensäure, auch durch die Blattorgane von den Pflanzen aufgenommen wird. Die Pflanze entzieht die Kohlensäure und das Ammoniak den sie nächstumfließenden Luftschichten; während ihr immer neue Luftschichten zugeführt werden, und während durch Aerodiffusion sich die Bestandtheile der Luft gleichmäßig verbreiten, kann die Pflanze fortwährend die genannten Gase aufnehmen und in sich anhäufen. Die Diffusion der Luft bedarf aber einer gewissen Zeit, und es kann uns deshalb nicht überraschen, wenn man die oberen, der Vegetation fernliegenden Schichten der Atmosphäre kohlensäurereicher findet als die untere, Florens Reich durchflutende Schicht, wo jede Pflanze bereit ist, Kohlensäure einzunehmen und sie im Tageslichte zu zersetzen.

Wie die genannten verhalten sich auch mehr zufällig in der Atmosphäre vorkommenden Gase; auch sie werden von den Pflanzen aufgenommen, insofern sie in Wasser löslich sind. Beachtenswerth ist Schwefel- und Phosphorwasserstoff, weil sie vielleicht auch für den pflanzlichen Stoffwechsel von Bedeutung sind. Ob überhaupt immer und in welcher Menge diese und noch manche andere Stoffe in der Luft vorkommen, wissen wir nicht; vielleicht wird uns die jüngst erfundene Spectralanalyse, welche in der Luft fremdartige Stoffe bei kaum berechenbarer Verdünnung noch nachzuweisen vermag, Rechenschaft darüber geben.

Wasser nimmt gasige Stoffe aus der umgebenden Atmosphäre, oder wenn sie durch dasselbe geleitet werden, so lange auf, bis es sich damit gesättigt hat. Die gelösten Gase werden von dem Wasser gebunden;

indeß läßt sich nicht läugnen, daß von manchen gelösten Gasen wieder kleine Antheile aus dem Wasser in die Luft übertreten, wie uns die früher mitgetheilten Versuche zeigten, und worüber uns oft unsere Nase belehrt. Erst wenn dem Wasser größere Mengen Gas zugeführt werden, als es aufzulösen vermag, gehen die zuviel zugeführten Mengen in die Luft. Bei niedrigeren Temperaturgraden ist die Sättigungscapicität des Wassers für Gase größer als bei höheren; Wasser, welches sich bei niederer Temperatur gesättigt hat, scheidet Gas aus, wenn die Temperatur steigt. Bei einem stärkeren Luftdrucke wird mehr von einem Gase aufgenommen als bei schwächerem. Diese einfachen physikalischen Gesetze beherrschen auch die Pflanze und ihre Zellen; nach ihnen erfolgt hier auch die Gasausscheidung.

Der bemerkenswertheste Fall ist die Sauerstoffausscheidung durch die Blattorgane. Das Wasser der Pflanze enthält größere Mengen Kohlensäure gelöst, ebensowol durch die Blätter aus der Atmosphäre, als auch durch die Wurzeln aus der Nahrungsflüssigkeit zugeführt; durch den Lebensproceß wird sie in ein X und in Sauerstoff zerlegt; und weil der Sauerstoff sich nur in äußerst geringer Menge in Wasser löst, muß der größte Theil des sich im Stoffwechsel entwickelnden ausgeschieden werden und aus Zelle und Pflanze austreten. Bei denjenigen Pflanzen, deren Parenchym von Intercellulargängen durchdrungen ist, ergießt sich der Sauerstoff in diese hinein und entweicht durch die Spaltöffnungen aus der Pflanze; bei Pflanzen ohne Intercellularsystem werden die sich ausscheidenden Gase durch alle Zellen der Oberfläche auszutreten vermögen, bei Pilzen, Flechten, Algen, untergetauchten Wasserblätter höherer Pflanzen. Auch die Ausscheidung der Kohlensäure kann unter gewissen Umständen erfolgen, wenn sich nämlich das Wasser der Zellen bei niederer Temperatur sättigt und später höhere Temperaturen einwirken. Die Eigenschaft, bei verschiedenen Temperaturen in sehr verschiedenen Volumverhältnissen in Wasser gelöst zu werden, kommt der Kohlensäure in hohem Grade zu: 1 Volum Wasser nimmt bei 4° 1,5 Volum, bei 15° nur 1 Volum Kohlensäure auf. Wasserpflanzen müssen in ihrem unteren im Wasser befindlichen Theile beständig eine niedrigere Temperatur haben als in ihrem höheren, über dem Wasser befindlichen Theile, welcher der directen Einwirkung der Wärme ausgesetzt ist. Unter gewöhnlichen Verhältnissen, d. h. wenn das Wasser nur geringe Mengen Kohlensäure gelöst enthält, wird durch die angedeutete Temperaturdifferenz keine Ausscheidung der Kohlensäure durch die Blätter bedingt, weil dann das Zellwasser der untern Parthie der Pflanze eine Menge des Gases aufnimmt, welche auch in dem wärmeren Zellwasser der höheren Parthie gelöst bleibt; dazu

kommt noch, daß in diesen auch Kohlensäure im Stoffwechsel aufgeht. Anders indeß verhält sich die Sache, wenn das Wasser, worin sich die Wurzeln befinden, mit Kohlensäure gesättigt ist; in diesem Falle sättigt sich auch das Zellwasser der Wurzelpartien damit, und wird die Sättigung der dort herrschenden Temperatur entsprechen; die Kohlensäure diffundirt nach den höheren Theilen der Pflanze, trifft hier auf wärmeres Wasser, worin sich alle Kohlensäure nicht mehr gelöst zu erhalten vermag und gasförmig ausgeschieden wird. Auf diesem Umstande beruht unstreitig die Kohlensäureausscheidung bei verschiedenen Versuchen Knop's [1]. Er ließ Pflanzen im Dunkeln in Wasser, in welches er Kohlensäure leitete, vegetiren, wobei die Kohlensäure aufgenommen und durch die Blätter ausgeschieden wurde. Man spricht so viel davon, daß die Pflanzen im Dunkeln, bei Nacht, Kohlensäure ausathmen; was man davon zu halten hat, ist leicht einzusehen: die Kohlensäureausscheidung durch die Blätter kann nur dann erfolgen, wenn das Wasser der Pflanze damit gesättigt ist, so lange Dies nicht der Fall ist, wird sie noch Kohlensäure aufnehmen; ob aber unter gewöhnlichen Verhältnissen der Pflanze so viel Kohlensäure geboten wird, daß ihr Zellwasser von der Wurzel her sich damit sättigen kann, steht dahin und ist zu bezweifeln.

Die Aufnahme des Stickstoffgases hat viel von sich reden gemacht; doch steht jetzt wol so viel fest, daß es nur in einem Verhältnisse in die Pflanze einzutreten vermag, welches seiner Löslichkeit in Wasser entspricht, da eine Consumtion desselben in dem Stoffwechsel nicht nachgewiesen werden konnte. So viel wie wir wissen, wird Stickstoff bei dem pflanzlichen Stoffwechsel auch nicht frei, weshalb seine Ausscheidung auch nicht von Bedeutung sein kann.

Das Verhältniß des im Wasser der Zellen gelösten Stickstoff- und Sauerstoffgases muß so ziemlich dem Verhältnisse gleich sein, wie es für reines Wasser gefunden wurde, nämlich 35 % Sauerstoff und 65 % Stickstoff, wenigstens gilt Das für die Zeit, wo Sauerstoff aus Kohlensäure entwickelt wird; denn bei Nacht oder im Dunkeln scheint Sauerstoff gebunden zu werden, wodurch die Luft sauerstoffärmer sein muß. Knop fand, daß Myriophyllum während des Tages eine Luft mit einem Sauerstoffgehalt von 33—35 % hatte, wogegen er von des Abends bis des Morgens auf 10—12 % sank [2]. Höher kann der Sauerstoffgehalt nicht steigen; wird mehr Sauerstoff entwickelt, so muß er in Gasform ausgeschieden werden.

---

[1]) Landwirthsch. Versuchsstationen, Heft 2, Seite 156.

[2]) Ebendaselbst.

Auch die Ausscheidung des Ammoniaks oder des kohlensauren Ammoniaks in Gasgestalt durch die Blätter und blattähnlichen Organe ist vielfach der Gegenstand von Untersuchungen gewesen, dennoch ist es bis heute eine Streitfrage. Wenn auch bis jetzt kein einziger genügender experimenteller Beweis dafür geliefert wurde; wenn es auch für die meisten Lebensverhältnisse nicht wahrscheinlich ist: so mögen doch Umstände eintreten, wo sie stattfindet. Permeable Membrane, welche mit einer Ammoniaklösung von äußerst geringer Concentration gefüllt sind, lassen keine bemerkbaren Spuren Ammoniak austreten, wie ein Versuch mit einer Collodiummembran in der ersten Abtheilung zeigte. Die Concentration dieser Flüssigkeit war aber vielleicht noch stärker als die in der Zellenflüssigkeit lebender und normal vegetirender Pflanzen in Bezug auf Ammoniak. Was wir von der Ammoniakausscheidung zu halten haben, liegt auf der Hand. Abgesehen davon, daß in der Pflanze das Ammoniak sich kaum anders als in nichtflüchtigen Formen finden kann, halte ich dafür, daß die gasförmige Ausscheidung desselben unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht vorkommt. So große Mengen freien oder kohlensauren Ammoniaks werden wol schwerlich in der Pflanzenzelle vorkommen, daß sie durch die Membran verdunsten könnten. Bei der reichlichen Gegenwart von Säuren, welche mit Ammoniak bei gewöhnlicher Temperatur nichtflüchtige Salze bilden, in allen Organen der Pflanze ist das Bestehen freien oder kohlensauren Ammoniaks kaum denkbar. Wir dürfen indeß auch die Einwirkung kohlensaurer Erden auf schwefel-, salpeter- und phosphorsaures Ammoniak nicht übersehen. Bekanntlich zersetzen sich schwefelsaure, phosphorsaure u. s. w. Erden mit kohlensaurem Ammoniak, wenn sie gelöst sind, so, daß die Kohlensäure an die Erde, die erstgenannten Säuren an das Ammoniak treten und dieses fixiren; umgekehrt jedoch wirken die Verbindungen dieser Säuren mit Ammoniak auf die kohlensauren Erden, wenn die Stoffe nur angefeuchtet, also nicht in Lösung, zusammenkommen, dann tritt die Kohlensäure an das Ammoniak, welches dadurch flüchtig wird, und die fixe Säure an die Erde. Solche Vorgänge könnten auch in der Pflanze, besonders bei der Samenbildung vorkommen. So lange wie z. B. phosphorsaures Ammoniak in den Zellen des Samens gelöst enthalten ist, kann es, ohne eine Zersetzung zu erfahren, neben kohlensaurem Kalke bestehen; trocknet der Same bei dem Reifwerden ein, befindet sich der Zelleninhalt nun in feuchtem Zustande, so wird kohlensaures Ammoniak entwickelt und muß die Zellenmembran durchdringen. Das Gesagte im Auge haltend, ist die von E. Wolf vorgetragene, durch die Art der Darstellung freilich etwas wunderlich klingende Theorie, nach

welcher das Ammoniak bei Cerealien die Phosphorsäure aus der Wurzel durch den Halm zu den Samen führen, und hier aus der Verbindung mit Phosphorsäure heraustretend, abdunsten soll, gerade nicht so ganz unmöglich. Ob solche Vorgänge bei der Pflanze wirklich stattfinden, muß durch genaue Versuche entschieden werden. In Beziehung auf Ammoniakausscheidung untersuchte Knop[1]) Typha latifolia, ohne sie von ihrem natürlichen Standorte (einem Teiche) zu entfernen; in 3 Tagen und 2 Nächten war kein Ammoniak ausgeschieden worden. Was aber für eine gewisse Pflanze und eine gewisse Lebensperiode gilt, darf man deshalb noch nicht für alle Pflanzen und andere Lebensperioden als unbedingt gültig betrachten. Wie gesagt, die Möglichkeit ist vorläufig nicht ausgeschlossen.

Viale und Latini glauben gefunden zu haben, daß das Ammoniak sich mit organischen Säuren und Kohlenwasserstoffen verbinden und (wol in der letzten Verbindung, d. Verf.) von den Blüthen als duftende Stoffe ausgehaucht werde. Es ist Das wahrscheinlich nur eine Vermuthung wie so manche andre.

Von anderen Stoffen, welche die Pflanze in Gasgestalt ausscheidet, sind noch die duftenden — ätherische Oele — bemerkenswerth. Sie kommen oft nur in so äußerst geringen Mengen vor, daß ihre Gegenwart chemisch nicht nachzuweisen ist. Aehnlich wie das Ammoniak permeable Membrane durchdringt, werden die duftenden Stoffe auch ausgehaucht, was bei ihnen um so leichter sein wird, als die meisten gar nicht oder doch äußerst schwer in Wasser löslich sind.

Mit der Ausscheidung der ätherischen Oele haben wir ein eigenes Gebiet der Ausscheidung betreten, die Secretion — wir dürfen dieselbe hier jedoch übergehen, weil ich später doch nochmals darauf zurückkommen muß.

Wir wollen schließlich noch die Pflanzen, je nachdem ihre einzelnen Theile in Einem oder in verschiedenen Medien leben und verschieden functioniren, eintheilen in Landpflanzen, Wasserpflanzen und untergetauchte Wasserpflanzen. Bei den letzteren befinden sich Blätter und Wurzeln im Wasser; die Blätter verdunsten nicht — Wasserblätter —; die Wurzeln schweben oft im Wasser, oft sind sie im Boden, welcher aber vollständig mit Wasser durchdrängt ist, befestigt — Wasserwurzeln —; sie können in einem Boden, der nur Wasser im capillarisch gebundenem Zustande enthält, nicht existiren. Die eigentlichen Wasserpflanzen

---

[1]) Landwirthsch. Versuchsstationen, Heft 2, Seite 162.

senden ihre Wurzeln in das Wasser oder in einen mit Wasser vollständig durchdrängten Boden — also auch Wasserwurzeln —; ihre Stammorgane erheben sich in die Luft, die Blätter haben Spaltöffnungen und verdunsten — Luftblätter —. Bei den Landpflanzen befindet sich die Wurzel in einem Boden, welcher nicht mit Wasser gesättigt ist, sie kann sich für Wasser in gewöhnlicher Form nicht accommodiren und geht in demselben zu Grunde. Der Stamm mit den Blättern erhebt sich in die Luft. Manche Wasserpflanzen mit untergetauchten Blättern erheben ihre Blüthenorgane über Wasser — Ranunculus aquatilis, Hippuris vulgaris, Potamogeton —; andere haben Wasserblätter und Luftblätter zugleich — Ranunculus fluitans, Trapa natans, Potamogeton —. Es ist sonderbar, daß die Species ein und derselben Gattung hinsichtlich der Verdunstung oft so verschieden sind, daß eine Species Landpflanze ist und die andere Wasserpflanze, die eine bloß Wasserblätter hat, während die andere Species als Wasserpflanze bloß Luftblätter hat u. s. w. Man sieht daraus, wie die Natur so wenig Gewicht auf die Verdunstung legt. Wenn auch die Pflanzen sich im Allgemeinen in die angeführten Abtheilungen einreihen lassen, so giebt es doch auch Ausnahmen: so die Schmarotzer, welche ihre Wurzeln in das Cambium anderer Pflanzen treiben; die Luftpflanzen, welche, ursprünglich der Erde entsprossen, sich später von ihr trennen und nur in der Luft leben; Epipogum Gmelini und Monotropa Hypopitys liegen in feuchter Erde und haben keine Spaltöffnungen, ihr Blüthenschaft erst erhebt sich über die Erde.

Physiologische Versuche.

Die vorhergehende Betrachtung hat uns zu dem Resultate geführt, daß bei Pflanzen, die untergetaucht im Wasser vegetiren und bei solchen, deren einer Theil mit der Nahrungsflüssigkeit in Berührung ist, während der andere Theil von der athmosphärischen Luft umflutet wird,

der Stoffwechsel die Aufnahme gelöster anorganischer Stoffe durch die Wurzel

bedingt, so wie daß bei den letztgenannten Pflanzen

die Verdunstung des Wassers durch die Blätter die Aufnahme von Wasser durch die Wurzeln

zur Folge hat.

Wenn ich bis jetzt unsern Gegenstand theoretisch aus den Erscheinungen der Diffusion entwickelte; wenn dieses auch allein schon hinreichte,

um die Sache zu begründen, weil die Diffusion in der Pflanzenzelle gar nicht anders aufzutreten vermag, als auch bei dem Experimente: so sollen hier doch einige physiologische Versuche herangezogen werden, die als experimenteller Beweis anzusehen sind. Wie ich schon in der Einleitung andeutete, wird von den meisten Pflanzenphysiologen und Agriculturchemikern noch angenommen, daß die Verdunstung des Wassers durch die Blätter die Aufnahme der anorganischen Nahrungsstoffe in den Wurzeln zur Folge habe, daß durch die Verdunstung Wasser aus der Pflanze fortgeführt, dadurch der Eintritt neuer Mengen bedingt sei; das eintretende Wasser soll dann die anorganischen Stoffe, welche in ihm gelöst sind, mit in die Pflanze einführen. Ich habe früher schon die Inconsequenzen dieser Theorie gezeigt, wodurch man längst schon hätte auf die Unhaltbarkeit derselben aufmerksam werden müssen. Schulz-Fleth scheint der Erste gewesen zu sein, welcher seine Zweifel gegen die geltende Theorie aussprach, welcher zugleich aber auch die Aufnahme der anorganischen Stoffe mit der chemisch-physikalischen Ausgleichung in Verbindung gebracht. Schacht in seinem Lehrbuche der Anatomie und Physiologie der Gewächse trat Schulz-Fleth's Ansichten bei, trotzdem aber wurde denselben wenig Aufmerksamkeit geschenkt, besonders von den Agriculturchemikern. Weil mir die Original-Abhandlung von Schulz-Fleth über diesen Gegenstand nicht bekannt ist, muß ich mich darauf beschränken, nach Schacht die Sache mitzutheilen. „Schulz-Fleth[1]) hat neuerlich interessante Versuche angestellt und durch selbige nachgewiesen, daß die Aufnahme eines bestimmten Stoffes von dem Verbrauch desselben in der Pflanze abhängig ist, und daß somit, wenn ein bestimmter Stoff aus der Zellflüssigkeit verschwindet, das Streben nach Gleichgewicht dessen Aufnahme im entsprechenden Verhältniß veranlaßt." — — „Schulz zeigt, daß nicht die Verdunstung an der Oberfläche durch die vermehrte Wasseraufnahme auch die Menge der anorganischen Stoffe in der Pflanze vermehrt — —." „So lange nur Wasser abdunstet, sonst aber keine anorganischen Stoffe aus der Lösung im Zellsaft verschwinden, kann auch nur Wasser wieder aufgenommen werden, sobald dagegen irgend ein Stoff auf die eine oder andere Weise aus der Lösung verschwindet, muß derselbe in entsprechendem Maaße wieder ersetzt werden." — In diesen Sätzen finden wir die im vorigen Capitel vorgetragene Theorie wieder, und Schulz-Fleth müssen wir als eigentlichen Schöpfer derselben betrachten.

---

[1]) Schacht, a. a. Orte Seite 363 und 364.

Liebig's Verdammungsurtheil der Verdunstungstheorie, wie ich die ältere nennen will, setzte, wie anders nicht zu erwarten war, die Pflanzenforscher und Agriculturchemiker in Erstaunen. Er sah wol ein, daß die Pflanze bei der Aufnahme ihrer Nahrungsstoffe eine eigene Rolle spielen müsse, „sie wählt aus, was sie bedarf, und was der Boden darbietet, kann nur dann in ihren Organismus übergehen, wenn eine innere, in der Wurzel thätige Ursache mitwirkt."[1]) Wie man sieht, war Liebig über die wahre Ursache der Aufnahme nicht im Klaren; er hatte aber die geltende Theorie verdächtigt, ihre gänzliche Unzuläſſigkeit gezeigt und Anstoß zu neuem Forschen gegeben — und das war schon genug.

In jüngster Zeit ist von Knop ein physiologischer Versuch mitgetheilt worden, welcher für die Verdunstungstheorie anscheinend spricht. Er folgert aus diesem Versuche das in der Einleitung angeführte Resultat. Die Mineralsalzlösung soll gleichsam in die Wurzel und den obern Theil der Pflanze hinauffiltrirt und in den Organen eingedunstet werden.[2]) Die Versuchspflanze verdunstete durch ihre Blätter 65 Gramm Wasser, hierzu addirend 4,6 Gr., welches als Zellwasser in die Pflanze eingetreten war, giebt 69,6 Gr. In der bei dem Versuche als Nahrungsflüssigkeit dienenden Lösung entsprechen 69,6 Gr. Wasser 0,046 Gr. trocknen Rückstand — Salze —. Es mußten demnach in die Pflanze eingetreten sein 0,046 Gr. Salze; die Analyse gab statt dessen 0,048 Gr. Bei richtiger Würdigung aller Verhältnisse dieses Versuchs läßt sich derselbe nicht als entscheidend betrachten; und will ich mich hier um so mehr einer eingehenden Interpretation desselben enthalten, als ein späterer Versuch desselben Forschers und eine große Reihe von de Saussure's Versuchen dem Resultate dieses Versuches entgegenstehen. Knop[3]) ließ Pflanzen in einer Lösung vegetiren, welche durch Auflösung von 1 Gr. schwefelsaurem Kali und 5 Gr. phosphorsaurem Kali in 1 Liter Brunnenwasser hergestellt wurde, welches einen Salzgehalt von 0,399 hatte; das Liter Wasser enthielt folglich im Ganzen 6,399 Gr. Salze; zur Blüthenzeit, wo die Lösung auf 200 CC unter der Pflanze eingedunstet war, wurde in dieser Menge Lösung wiedergefunden 4,141 Gr. Salze. Stände nun wirklich die Salzaufnahme in Beziehung zum verdunsteten Wasser, so dürften in den 200 CC nur $\frac{6,399}{5} = 1,279$ Gr. Salze wiedergefunden werden. Knop kommt nach diesem Versuche dann

[1]) Naturwissenschaftliche Briefe über moderne Landwirthschaft. (1859). S. 40.
[2]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen, Heft 3, S. 193 (1859).
[3]) Ebendaselbst, Heft 4, S. 83 u. 84 (1860).

selbst zum Schlusse, daß die Lösung um die Wurzel herum in einem fort concentrirter werde, während die Pflanze Wasser verdunste. „Die Wurzel saugt die vorhandene Lösung auf, in den Blättern dunstet nun das Wasser ab und dadurch wird der Pflanzensaft concentrirter als die Lösung um die Wurzeln herum es ist. Hierauf treten die Salze aus dem Pflanzensafte zurück und das Endresultat ist also das, daß die Lösung außerhalb der Wurzeln an ihrem Salzgehalt concentrirter wird, als sie es zu Anfang war.“[1]) Was das Zurücktreten des Salzes aus der Pflanze zu bedeuten hat, brauch' ich wol kaum zu sagen, nachdem wir die Gesetze der Diffusion kennen gelernt haben.

De Saussure brachte Pflanzen, nachdem sie in destillirtem Wasser neue Würzelchen getrieben hatten, in verdünnte Salzlösungen von bekanntem Gehalte und hob die Versuche auf, als von den Pflanzen die Hälfte der Versuchsflüssigkeit aufgenommen war. Wären Wasser und Salz in dem Verhältniß aufgenommen worden, wie sie sich in der Lösung befanden, so hätte, wenn die Hälfte der Lösung aufgenommen war, auch die Hälfte des aufgelösten Salzes aufgenommen werden müssen; wenn man nun die Menge des Salzes zu Anfang des Versuchs gleich 100 setzt, so mußte unter der obenangegebenen Bedingung mit dem Wasser 50 Salz in die Pflanze übergehen; daß dies aber nicht der Fall war, zeigen die folgenden Zahlen. Die Versuchspflanzen waren Polygonum Persicaria und Bidens canabina.

	Polygonum Statt 50 %	Bidens Statt 50 %
Chlorammonium	12 %	17 %
Chlorkalium	15 —	16 —
Chlornatrium	13 —	15 —
Schwefelsaures Natron	14 —	10 —
Schwefelsaures Kupferoxyd . .	47 —	48 —
Salpetersaurer Kalk	4 —	8 —
Essigsaurer Kalk	8 —	8 —

Der nun folgende Versuch wird zeigen, daß selbst die Verdunstung größerer Mengen Wasser durch die Pflanze nicht im Stande ist, Salze in die Pflanze einzuführen. Die Versuchspflanze war Scrophularia aquatica und vegitirte in einer Lösung von schwefelsaurem Kali. Ich habe das genannte Salz deshalb gewählt, weil von ihm höchstwahrscheinlich gar nichts oder doch nur wenig im Stoffwechsel aufgeht.

---

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen. Heft 4, Seite 85.

Scrophularia aquatica.

Fünf am Ufer eines Mühlbaches gewachsene Pflanzen wurden in ein großes Gefäß mit Regenwasser eingesetzt. Der Boden des Ufers, worin die Pflanzen gewachsen waren, wurde häufig unter Wasser gesetzt, so daß die Pflanzen dann in ihrem natürlichen Zustande einen vollständig durchnäßten Boden hatten. In dem Regenwasser, welches oft erneuert und später durch destillirtes ersetzt wurde, fingen die Pflanzen Anfangs an zu welken, weil die Wurzeln faulten und zu Grunde gingen, erholten sich jedoch allmählig wieder, während aus den höhern im Wasser befindlichen Knotengelenken neue Wurzeln hervortraten und die oberen Theile vieler unten abgestorbener Wurzeln neue Wurzeläftchen bildeten — Wasserwurzeln —. In 5 bis 6 Wochen hatten die Pflanzen ein starkes Wurzelwerk erzeugt und sich überhaupt auch in allen Theilen mehr entwickelt. Die Blüthentraube war zum Vorschein gekommen. Das reine Regenwasser sowie das destillirte Wasser hatte der Pflanze alle löslichen anorganischen Stoffe entzogen: während man in der ersten Zeit beim Eindampfen von 100—200 CC Wasser, worin die Pflanzen 5—6 Tage vegetirt hatten, einen nicht unbeträchtlichen feuerbeständigen Rückstand erhielt, ließ sich in den letzten Tagen in der angegebenen Wassermenge nichts Feuerbeständiges mehr finden. Hierauf nun wurden die Pflanzen in eine Lösung von schwefelsaurem Kali gebracht, welche in 1 Liter 1 Gr. Salz enthielt. Es geschah Das, um das Zellwasser in Bezug auf schwefelsaures Kali mit der äußern Lösung in's Gleichgewicht zu setzen. Die Versuchsflüssigkeit wurde auf die Weise dargestellt, daß ich in eine Literflasche 1 Gr. schwefelsaures Kali hineinwog, dasselbe auflöste und die Flasche bis an die Litermarke mit Wasser anfüllte; es wurden so 4 Liter hergestellt, miteinander gemischt und 100 CC auf ihren Gehalt durch Analyse untersucht. Ich fand in 100 CC 0,0992 Gr. KO, SO_3. Wenn etwa 50 CC verdunstet waren, wurden sie der Lösung wieder zugesetzt. In 10 Tagen waren verdunstet 636 CC Wasser. Die letztverdunstenden 50 CC wurden nicht ersetzt, weil die Pflanze nach einer oberflächlichen Wasserbestimmung ungefähr 50 Gr. Zellwasser enthielt. Die Blüthentraube hatte sich ziemlich weit entwickelt und die ersten Blumen geöffnet. Jetzt wurde die Pflanze von Neuem in eine Flasche (in ein sog. Einmachglas) gesetzt, welches 1 Liter derselben Lösung enthielt. Der vierkantige Stengel der Pflanze ging durch ein viereckiges Loch eines Korkes, womit die Flasche geschlossen wurde; der von dem Stengel nicht ausgefüllte Raum des Loches war so mit Baumwolle verstopft, daß nur äußerst geringe Mengen Wasser direct aus der Flasche verdunsten konnten, daß aber noch der Luftdruck auf den Inhalt einzuwirken

vermochte. Das Niveau der Flüssigkeit wurde mit einer Marke bezeichnet, und wenn 10—25 CC verdunstet waren, die Flasche wieder bis zur Marke gefüllt. Indem ich den Kork lüftete und die Wurzel auf und ab durch die Flüssigkeit bewegte, suchte ich das zugesetzte Wasser gleichmäßig über die Lösung zu vertheilen. Der Versuch fiel in die erste Hälfte August dieses Jahres (1860), welcher sich durch niedrige Temperatur und niedrigen Barometerstand auszeichnete. In 15 Tagen waren verdunstet 722 CC. Die unteren größeren Blätter waren verwelkt und eingetrocknet; die Blumen hatten sich zum größten Theile geöffnet. Nachdem am 16. Tage die Flasche bis zur Marke gefüllt worden war, nahm ich 100 CC heraus und untersuchte sie auf ihren Gehalt. Ich fand 0,1003 Gr. KO, SO_3. Die Differenz von 0,0011 kann man wol als Bestimmungsfehler ansehen. Dieser Versuch belehrt uns zur Genüge, daß die Verdunstung des Wassers durch die Blattorgane durchaus ohne Einfluß auf die Einführung der anorganischen Stoffe in die Wurzel ist. Die Pflanze, als sie zum zweiten Mal in die Salzlösung eingesetzt wurde, enthielt in ihren Zellen eine Lösung, die hinsichtlich der Concentration der zweiten Versuchsflüssigkeit entsprach; es bestand zwischen beiden Gleichgewicht und neue Mengen Salz traten nicht ein. Will man die Differenz nicht als Bestimmungsfehler ansehen, so wären in den 15 Tagen des Versuchs 0,011 Gramm Salz wieder ausgetreten, es müßte demnach die Concentration in der Pflanze von der ersten Lösung her etwas stärker gewesen sein als die Lösung außerhalb. Wenn die Pflanze nur Wasser verdunstet, wird auch nur Wasser in sie aus der Nahrungsflüssigkeit aufgenommen, sonst kein Stoff.

Der theoretischen Betrachtung der pflanzlichen Diffusionsverhältnisse zufolge, muß zwischen dem Zellwasser und der äußeren Nahrungsflüssigkeit hinsichtlich ihrer gelösten Bestandtheile Gleichgewicht herrschen, vorausgesetzt, daß die Zeit, während welcher sie in Berührung standen, genügend war, um das Gleichgewicht herbeizuführen. Knop will aus dem letzten seiner eben angeführten Versuche den experimentellen Beweis ziehen, daß die Concentration der Salzlösung, worin Pflanzen vegetirten, und die Concentration der Salzlösung in den Zellen gleich sei. Er fand folgende Zahlen:

Die Concentration innerhalb der Pflanze = 0,0182
Die Concentration außerhalb der Pflanze = 0,0207.

Die Zahlen weichen aber noch zu weit von einander ab, besonders wenn man, was Knop übersehen hat, bedenkt, daß die 0,0182 Salze nicht alle gelöst in der Pflanze vorhanden waren, daß jedenfalls auch ein großer Theil ausgeschieden war in unlöslicher Form. Die Salzmenge

wurde durch Einäscherung der Pflanze bestimmt; die Asche läßt aber keinen Schluß aus die gelösten und ungelösten Antheile der Salze in der Pflanze ziehen.

Wenn auch die Sache an und für sich nicht anzuzweifeln ist, so war für mich doch von Interesse, in dieser Zeit der Zahlen analytische Belege dafür zu liefern. Der Versuch selbst mißglückte zwar, ich will ihn doch hier beschreiben. Es müssen bei solchen Versuchen alle Verhältnisse möglichst einfach sein; ich experimentirte deshalb nur mit einem einzigen Salze, welches zudem wahrscheinlich im Stoffwechsel nicht consumirt und nicht unlöslich abgeschieden wird — mit schwefelsaurem Kali. Ich hatte zu meinen Versuchen ein Exemplar der Scrophularia aquatica bestimmt, welche 6 Wochen in reinem Wasser vegetirt hatten, also in ihrem Zellwasser keine gelösten Salze mehr enthielten. Diese Pflanze vegetirte 5 Wochen in einer Lösung von schwefelsaurem Kali, welche in 1 Liter 1 Gramm (0,992) KO, SO_3 enthielt. Es verdunstete ungefähr 1 Liter Wasser; das verdunstete Wasser wurde, wie in dem oben angeführten Versuche, fortwährend ersetzt. Bei Beendigung des Versuches hatte die Pflanze abgeblüht und waren ihre großen Blätter vertrocknet, welche deshalb abgenommen wurden. Die Pflanze verunglückte leider bei der Trockengewichtsbestimmung. Das Trockengewicht einer in der Natur bis zur beendigten Blüthe gediehenen Scrophularia zu Grunde gelegt, gab ein noch mehr übereinstimmendes Resultat als das des Knop'schen Versuches. Mein Versuch kann dieser Umstände halber nicht gültig sein, und will ich deshalb keine Daten angeben. Die Concentration der in der Pflanze enthaltenen Lösung sollte durch das bei 100° ausgetriebene Wasser und die aus der äußern Lösung fortgegangene Salzmenge bestimmt werden.

Vegetationsversuche, in welchen der Pflanze verschiedene Salze dargeboten werden, lassen stets einen merklichen Mengenunterschied in der Aufnahme der einzelnen Salze erkennen. Dieser Unterschied kann durch zwei Momente bedingt sein, nämlich durch die verschiedene Durchgangsfähigkeit der Salze und durch den Stoffwechsel. Die Verschiedenheit, welche durch die Durchgangsfähigkeit bedingt wird, kann jedoch nur bei kurzdauernden Versuchen hervortreten, wo nämlich die Ausgleichung zwischen der äußern Nahrungsflüssigkeit und dem Zellwasser noch nicht herbeigeführt wurde; sobald wie Gleichgewicht zwischen beiden eingetreten ist, haben innere und äußere Flüssigkeit gleiche Procente eines jeden Salzes; wenn aber im Stoffwechsel das eine oder andere Salz consumirt wird, muß dasselbe natürlich in neuen Mengen eintreten und sich in der Pflanze anhäufen. Hinsichtlich der Durchgangsfähigkeit gilt für

die pflanzliche Zellenmembran Dasselbe, was bei der Nitrocellulosemembran als gesetzlich gefunden wurde, wenigstens soweit als die Stoffe auch bei der Pflanze untersucht worden sind. Ich habe in dieser Beziehung einige interessante Versuche angestellt.

Ranunculus sceleratus.

Dieser Ranunkel stammte aus einem Moorgrunde mit stagnirendem Gewässer. Mehrere Exemplare wurden in destillirtes Wasser gesetzt, wobei die Pflanzen sich vollkommen gut und ohne Neubildung von Wurzeln erhielten, unstreitig weil die Pflanzen in dem Sumpfwasser nur Wasserwurzeln gebildet hatten. Nachdem sie 3 Wochen so vegetirt hatten, wurden sie in eine Lösung von Chlorkalium, schwefelsaurem und phosphorsaurem Kali versetzt. Ich stellte die Lösung dar, indem von jedem Salze 1,5 Gramm in 1,5 Liter Wasser aufgelöst wurden (wie bei Scrophularia); die analytische Bestimmung ergab für 1 Liter

Chlorkalium 0,9981 Gramm
Schwefelsaures Kali 1,0010 Gr.
Phosphorsaures Kali 0,9953 Gr.

Nachdem die Flüssigkeit auf 700 CC eingedunstet war, was in circa 5 Tagen geschah, und wobei die Pflanzen anfingen zu welken, wurden sie herausgenommen, die Wurzeln abgespült und die zurück gebliebene Salzmenge bestimmt. Hieraus ergab sich, daß in die Pflanze eingetreten war

Chlorkalium 0,0488 Gramm
Schwefelsaures Kali 0,0371 Gr.,
Phosphorsaures Kali 0,0356 Gr.

Die Versuchspflanzen brachte ich nun wieder in reines Wasser, worin sie sich sehr bald wieder erholten und bis zur Blüthe fort vegetirten. Eine derselben verunglückte jedoch bald nachher und wurde durch eine neue, der alten an Größe ziemlich ähnliche ersetzt. Als schon ein großer Theil der Blüthen dagewesen war, brachte ich sie von Neuem in eine Lösung der obigen Salze, welche diesmal aber weniger concentrirt war. 1 Liter enthielt

Chlorkalium 0,3964 Gramm
Schwefelsaures Kali 0,4004 Gr.
Phosphorsaures Kali 0,3983 Gr.

Die Flüssigkeit hielt ich längere Zeit durch Zusatz des verdunstenden Wassers auf 750—800 CC und ließ dann schließlich auf 700 CC eindunsten. Indessen hatten die Pflanzen sich ziemlich gut erhalten und die

Früchtchen entwickelt. Die Bestimmung der Salze im Rückstande ergab, daß aus der Versuchsflüssigkeit in die Pflanze übergegangen war

Chlorkalium 0,0264 Gramm
Schwefelsaures Kali 0,0257 Gr.
Phosphorsaures Kali 0,0278 Gr.

Ein weiterer Versuch mit Epilobium palustre, von demselben Standorte wie die Pflanzen des vorigen Versuches, welches in mehreren Exemplaren längere Zeit in einer Lösung von Chlorammonium, schwefelsaurem und oxalsaurem Ammoniak lebte, zeigte, daß letzteres Salz in größerer Menge aufgenommen wurde als die beiden ersten.

Bei dem ersten Versuche mit Ranunculus sceleratus hat, wie es scheint, noch keine Ausgleichung stattgefunden, weshalb denn auch das Resultat noch mit unsrer Durchgangsfähigkeitsscale übereinstimmt; bei dem zweiten Versuche ist das phosphorsaure Kali in größter Menge aufgenommen worden; der letztere Umstand beruht jedenfalls auf dem Verbrauch des phosphorsauren Kalis im Stoffwechsel. Ob bei Epilobium oxalsaures Ammoniak im Stoffwechsel aufging, oder ob eine andere Zersetzung, z. B. mit kohlensaurem Kalk, dessen größte Aufnahme bedingte, läßt sich in unserm Versuche nicht entscheiden.

Diese Art des Experiments ist sehr gut geeignet, die Stoffe kennen zu lernen, welche im Stoffwechsel aufgehen oder unlöslich in der Pflanze abgeschieden werden, überhaupt aus der Lösung der Zellflüssigkeit verschwinden. Man braucht nur Pflanzen in einer Lösung mehrerer Salze längere Zeit vegetiren zu lassen, oder noch besser, wie Knop und Julius Sachs dies thun, vom Samen aus sie in solchen Lösungen zu erziehen. Es müssen dann alle Salze, welche nicht im Stoffwechsel zur Verwendung kommen oder sonst nicht in der Pflanze ausgeschieden werden, in gleicher Concentration in der Nahrungsflüssigkeit und in dem Zellwasser vorhanden sein; die anderen hingegen müssen in größerer Menge als das Gleichgewichtsverhältniß verlangt, in die Pflanze eingetreten sein. Die Concentration der Zellenflüssigkeit wird durch die aus der Lösung verschwundene, also in die Pflanze eingetretene Menge Salz und diejenige Menge Wasser, welche bei 100° aus der Pflanze ausgetrieben wird, bestimmt. Am zweckmäßigsten würde es sein, mit großen Pflanzen oder einer größeren Anzahl von Pflanzen und mit größeren Mengen Nahrungsflüssigkeit zu experimentiren, damit die Salzbestimmungen nicht allzusehr in's Minutiose fallen.

Auch eine Versuchsreihe de Saussure's läßt mit Entschiedenheit die Wirkung der Durchgangsfähigkeit erkennen, und zeigen sich die Resultate dieser Versuche mit Ausnahme des schwefelsauren Kupfers ganz so, wie

sie nach unsrer Durchgangsfähigkeitsscale zu erwarten sind. In 793 Gr. Wasser wurden 2 oder 3 Salze, von jedem 0,637 Gr. aufgelöst. In diese Auflösung setzte de Saussure die Wurzeln der früher genannten Pflanzen — Polygonum Persicaria und Bidens cannabina — und ließ die Hälfte der Flüssigkeit auffaugen.

		Es war mit der Hälfte aufgenommen worden statt 50 % von Polygonum	Bidens
1.	Schwefelsaures Natron (NO, SO_3)	12 %	7 %
	Chlornatrium	22 —	20 —
2.	Schwefelsaures Natron	12 —	10 —
	Chlorkalium	17 —	17 —
3.	Schwefelsaures Natron	6 —	13 —
	Chlornatrium	10 —	16 —
	Essigsaure Kalkerde	Spur	Spur
4.	Salpetersaure Kalkerde	4 %	2 %
	Chlorammonium	16 —	15 —
5.	Salpetersaure Kalkerde	17 —	9 —
	Schwefelsaures Kupferoxyd	34 —	56 —

Daß das schwefelsaure Kupfer bei diesen Versuchen mit so hohen Zahlen figurirt, beruht in einem Abgeschiedenwerden in unlöslicher Form, wie ich früher ausführlicher erörtert habe.

Die anorganischen Stoffe auf ihrem Wege durch die Pflanze haben Tausende von Membranen zu passiren; jede Membran ist ein Hinderniß der Diffusion; in jeder derselben wird der Durchgang der gelösten Stoffe mehr oder weniger gehemmt, die Bewegung von der Wurzel zu den oberen Organen dadurch verlangsamt: es muß deshalb die Durchgangsfähigkeit der einzelnen Stoffe mit Entschiedenheit hervortreten; ihr bestimmter Ausdruck ist die Schnelligkeit, mit welcher die Stoffe sich durch die Pflanzen bewegen. Stände z. B. phosphorsaures Ammoniak und phosphorsaure Magnesia in gleichen Procenten der Lösung mit der Wurzel in Berührung, so würde ersteres schneller durch die Pflanze gehen, schneller das Gleichgewicht herbeiführen, besonders wenn an irgend einem Orte in der Pflanze dasselbe durch Ausscheidung gestört wird, als dies bei letzterem der Fall ist. Doch scheint die Durchgangsfähigkeit in dieser Beziehung nicht von großer Bedeutung zu sein; ob der eine Stoff sich etwas schneller als der andere ausgleicht oder schneller als der andere sich in die Pflanze hineinbewegt, die Ausgleichung wird doch zu Stande kommen.

Größer ist die Bedeutung der Durchgangsfähigkeit im Leben der Pflanze bei jenen Stoffen, welche in der Pflanze erzeugt werden. Diese, wenn ihre Durchgangsfähigkeit groß genug ist, können sich eben so leicht vom Orte ihrer Entstehung durch die Diffusion über die ganze Pflanze und auf die Nahrungsflüssigkeit verbreiten, also aus der Pflanze herausbewegen, wie andere Stoffe aus der Nahrungsflüssigkeit in die Pflanze eintreten. Hierher gehören Zucker, organische Säuren u. s. w. Andere dieser Stoffe, wie Eiweiß, schleimige Kohlenhydrate haben indeß eine so geringe Durchgangsfähigkeit, daß sie nur in äußerst geringen Mengen den Ort ihrer Entstehung verlassen können; sie häufen sich mithin in der Pflanze an.

Ein anderer mit der Durchgangsfähigkeit in engster Beziehung stehender Vorgang bei der Membrandiffusion, die ungleiche Anziehung der Membransubstanz zum Wasser und zu den gelösten Stoffen, wodurch das endosmotische Aequivalent bedingt wird, dürfte eine nicht unwesentliche Rolle im Leben der Pflanzen spielen. Wenn in der Membran bei unsern früheren Versuchen eine Salzlösung war, welche sich mit dem Wasser außerhalb mischte, so war in der Regel das Volum des eintretenden Wassers größer, als das gleichzeitig sich aus der Membranröhre herausbewegende Volum Salz. Es ist klar, daß die Membran der Zellen eben so auf die sie durchdringenden Salze einwirken muß. Ich habe der Wirkungen des hohen endosmotischen Aequivalentes des Eiweißes und der schleimigen Kohlenhydrate schon mehrfach gedacht; es bleibt uns indeß noch übrig, auch die Verhältnisse bei der Ueberführung der anorganische Stoffe in die Pflanze eingehender zu besprechen. Legt man eine isolirte Zelle in eine mäßigconcentrirte Auflösung von Zucker oder eines Salzes, so schrumpft sie zusammen; es tritt von dem Zucker oder Salze in die Zelle ein, hingegen tritt aber ein größeres Volum Wasser aus und die nothwendige Folge davon ist, daß die Zelle an Volum abnimmt. Bei größeren Zellencomplexen kann es nicht anders sein.

Die in der Zelle enthaltenen Stoffe führen Wasser in die Pflanze ein, von dem in die Pflanze eingetretenen Wasser wird jedoch wieder ein Theil gegen die eintretenden Salze austreten. Denken wir uns eine untergetauchte Wasserpflanze. Die Zellen der Oberfläche, welche mit der Nahrungsflüssigkeit in Berührung sind, nehmen aus letzterer gelöste Stoffe auf; es tritt aber aus den Zellen wegen des endosmotischen Aequivalentes ein größeres Volum Wasser wieder in die Nahrungsflüssigkeit aus; aus den oberflächlichen Zellen geht das Salz in die angrenzenden tiefer gelegenen Zellen über, aus diesen tritt Wasser in die ersteren zurück:

so bewegt sich das Salz aus der Nahrungsflüssigkeit von Zelle zu Zelle über die ganze Pflanze weiter, während gleichzeitig eine Wasserströmung in entgegengesetzter Richtung stattfindet. Die Pflanze müßte so allmählig an Umfang verlieren, wenn die Natur nicht dafür gesorgt hätte, daß die schleimigen Kohlenhydrate, das Eiweiß und andere in der Pflanze erzeugten Stoffe hinreichende Mengen Wasser einführten. Nun kommt noch die Verdunstung hinzu. Diese führt Wasser aus der Pflanze fort, was durch neuen Eintritt wieder ersetzt wird. Die verdunstenden Zellen concentriren ihren Inhalt, aus den angrenzenden Zellen mit weniger concentrirtem Inhalte muß neues Wasser in jene eintreten, um das Gleichgewicht wieder herzustellen, kurz es entsteht eine Wasserströmung aus der Nahrungsflüssigkeit durch die Pflanze nach den verdunstenden Zellen. Unter gewöhnlichen Verhältnissen hält der Eintritt von Wasser der Verdunstung und dem Austritt von Wasser gegen die eintretenden Salze so ziemlich das Gleichgewicht. Setzt man die Pflanze in eine etwas concentrirte Salzlösung, so geht mehr Wasser aus der Pflanze fort als eintritt, und die Pflanze welkt, d. h. die Zellen verlieren einen Theil ihres Wassers, die Membran verliert damit ihre Spannung, welche letztere ja die Straffheit der Pflanze bedingt. Man kann sogar die Sache so weit treiben, daß gegen das in die Pflanze eintretende Salz mehr austritt, als durch Verdunstung und durch den endosmotischen Strom in sie eingeführt wird, wie folgender Versuch mit Impatiens Balsamine zeigt.

Einige Pflanzen ließ ich bis zur Neubildung von Wasserwurzeln in Brunnenwasser vegetiren, versetzte die eine dann in eine nahezu gesättigte Lösung von schwefelsaurem Natron, und bezeichnete das Niveau der Flüssigkeit im Gefäße durch eine Marke; das Niveau blieb unverändert, es war also der exosmotische Strom des Wassers nicht stärker als der endosmotische. Setzte ich darauf aber eine Pflanze, welche der Hälfte ihrer Blätter beraubt war, in die von Neuem gesättigte Lösung, so nahm das Volum der Flüssigkeit in der Flasche zu; in diesem Falle wurde also mehr Wasser durch den exosmotischen Strom aus der Pflanze fortgeführt, als die Verdunstung und die in den Zellen wirkenden gelösten Stoffe in dem endosmotischen Stoffe aus der Lösung aufzunehmen vermochten.

Die Concentration der Nahrungsflüssigkeit ist auch von wesentlichem Einfluß auf die Stärke der Verdunstung. Wenn ein Mal eine Pflanze in reinem Wasser, das andere Mal unter gleichen Verdunstungsbedingungen in einer mäßig concentrirten Salzlösung lebt, so muß in dem ersten Falle mehr Wasser verdunsten als im zweiten. Die Erklärung liegt auf der

Hand. Wie wir wissen, geht die Ausgleichung der Concentrationsstörung aus den verdunstenden Zellen zu den Wurzeln. Je größer die Concentrationsdifferenz zwischen den sich berührenden Zellen ist, um so mehr Wasser muß auch aus den minderconcentrirten in die höherconcentrirten eintreten. Wenn nun der Inhalt der Zellen nach der Wurzel hin durch Zurücktreten des Wassers in die Nahrungsflüssigkeit immer concentrirter wird, wie Dies der Fall ist, wo die Nahrungsflüssigkeit eine Salzlösung ist, so muß in einer Zeiteinheit hier weniger Wasser nach den verdunstenden Zellen geführt werden, als da, wo die Nahrungsflüssigkeit aus reinem Wasser besteht und keine exosmotische Strömung aus der Pflanze stattfindet; demzufolge ist der Inhalt der verdunstenden Zellen in jenem Falle concentrirter, als in diesem, und wie aus den Verdunstungsversuchen der ersten Abtheilung bekannt ist, verdunstet aus einer Membran mit concentrirterem Inhalt weniger Wasser, als wenn die Flüssigkeit weniger concentrirt ist.

Eine interessante Reihe von Versuchen lieferte uns Julius Sachs, deren Resultate nur durch das Vorstehende zu erklären sind. Als er von 2 oder 3 Pflanzen von ziemlich gleicher Entwickelung (besonders der Blätter), wobei sich mithin auch die Verdunstungsverhältnisse ziemlich gleich gestalteten, die eine in Wasser, die andere in einer Salzlösung vegetiren ließ, verdunstete die erstere mehr Wasser als die andere. Ich will die wesentlichsten Daten eines dieser Versuche hier niederschreiben, im Uebrigen verweise ich auf die Originalabhandlung [1]). Die Pflanzen waren so in Flaschen eingesetzt, daß von der Oberfläche der Versuchsflüssigkeit nichts abdunsten konnte; derjenige Theil des Wassers, welcher durch die Blätter der Pflanze verdunstete, wurde für jeden Tag bestimmt, indem die Flaschen mit sammt der Pflanze und Flüssigkeit gewogen wurden. Der Gewichtsverlust ist gleich der Menge Wasser, welche seit der letzten Wägung fortdunstete.

---

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen 3. Heft. Seite 218.

Zea Mais.

Wurzeln von Pflanze I. in Wasser, von II. in einer Lösung des schwefelsauren Ammoniak von 0,33 %, von III. in einer gleichen Lösung von 0,5 %.

Tag und Stunde der Wägung	Gewichtsverlust = Wasser-Aufnahme durch die Wurzeln in Grammen			Verhältniß der Transpiration, wenn I = 100 gesetzt wird			Anmerkungen
19. Aug. 9 Uhr früh	I.	II.	III.	I.	II.	III.	
20. — 7 — früh	1,25	1,00	1,00	100	80	80	
20. — 4 — Abds.	1,25	1,10	1,05	100	88	84	
21. — 7 — früh	0,82	0,55	0,45	100	67	55	
21. — 5 — Abds.	1,68	0,90	0,85	100	53,6	53,6	
22. — 7 — früh	0,85	0,30	0,35	100	35,3	41,0	III. ist schneller gewachsen und von jetzt ab ausgeschieden.
22. — 6 — Abds.	2,55	0,85		100	33,3		
23. — 8 — früh	1,10	0,35		100	31,8		
24. — 7 — früh	4,05	1,10		100	27,1		
24. — 6 — Abds.	3,40	0,75		100	22,0		
25. — 8 — früh	1,20	0,10		100	8,3		
Summa	18,15	7,00					

Die meteorologischen Daten sind aus dieser Tabelle fortgelassen.

Die Vergleichung der Zahlen zeigt, daß sowol im Ganzen als auch bei jeder Wägung die Pflanze, welche im Wasser lebte, mehr verdunstete, als diejenige, welche in Salzlösungen vegetirten — was das vorhin Gesagte vollkommen bestätigt. Weiter geht aus diesen Zahlen hervor, daß die concentrirtere Salzlösung weniger verdunstete als die minder-concentrirtere, und daß schließlich, wie die Verhältnißzahlen beweisen, weniger aus den Salzlösungen verdunstet, je länger der Versuch dauert, d. h. je mehr die Flüssigkeit unter der Pflanze an Concentration zunimmt. Hinsichtlich der Concentration bedarf es wol kaum der Erwähnung, daß die concentrirtere Lösung mehr Wasser der Pflanze und den verdunstenden Zellen entzieht, mithin weniger verdunsten kann als bei der weniger concentrirteren. Wenn durch fortwährenden Wasserverlust die Lösung unter der Pflanze concentrirter wird, so mußte nothwendig auch im Verlaufe des Versuchs die Wirkung einer höheren

Concentration eintreten; es ist daher Julius Sachs im Irrthume, wenn er glaubt, „daß die Wurzeln die Fähigkeit immer mehr verlieren, das Salzwasser aufzunehmen, je länger sie mit demselben in Berührung sind" [1]), und er daraus die verminderte Verdunstung zu erklären sucht. Ueberhaupt mußte der Experimentator über die wahre Ursache der Erscheinungen seiner Versuche im Unklaren sein, weil er noch die Einführung der Nahrungsstoffe der Verdunstung zuschreibt und er die Wirkungen der ausgleichenden Diffusion bei der Pflanze nicht zu kennen scheint.

Gleiche Resultate erhielt Sachs, wenn er statt des Wassers der Pflanze einen Boden gab und diesen mit reinem Wasser oder mit Salzlösungen durchtränkte. Besonders bei Kochsalz und Gyps fand er die größte Verlangsamung der Verdunstung.

Ob überhaupt und in wie weit die hier besprochenen Vorgänge in das Leben der Pflanze eingreifen, läßt sich nach dem, was wir bis jetzt darüber wissen, nicht bestimmt beurtheilen. Was Sachs darüber urtheilt, dürfte wol zu berücksichtigen sein. „Vor Allem möchte ich auf zwei Folgerungen aus den obigen Versuchen besonderes Gewicht legen: einmal nämlich wirken die im Boden gelösten Salze conservirend auf die Bodenfeuchtigkeit ein und schützen somit die Pflanze vor frühzeitigem Wassermangel, andrerseits muß man die Retardation der Saftbewegung innerhalb der Pflanzen, welche von jenen Salzen bewirkt wird, als einen die Vegetation begünstigenden Einfluß betrachten.

„Denken wir uns z. B. zwei gleich große Stücke Feld, beide dicht mit Pflanzen derselben Art bedeckt, so dicht, daß der Boden völlig unsichtbar wird. In diesem Falle können wir die aus dem Boden selbst unmittelbar entweichende Feuchtigkeit als eine unbekannte Größe vernachlässigen; alles im Boden enthaltene Wasser wird seinen Weg durch die Wurzeln nehmen, den Blättern zugeführt und dort in die Luft ausgehaucht werden. Enthält nun der Boden des einen Feldes z. B. Kochsalz, das andere nicht, so kann unter Umständen das mit Kochsalz gedüngte Feld doppelt so lange feucht bleiben, als das ungedüngte. Wenn z. B. jedes Feldstück 1000 Pfund Wasser durch Regen zugeführt bekommt, so können diese 1000 Pfund auf dem ungedüngten Felde binnen 10 Tagen durch die Pflanzen aufgenommen und in die Atmosphäre ausgedünstet werden; ist nun das andere Feld mit 10 Pfund Kochsalz gedüngt worden, dann wird dieses nach 10 Tagen noch beinahe 500 Pfund Wasser im Boden enthalten; denn ein Versuch mit Kochsalz zeigte, daß nach 14 Tagen die damit gedüngte Pflanze nur 57,2 Gr., die ungedüngte dagegen 110,8 Gr.

---

[1]) A. a. O. Seite 219.

aufgenommen und abgegeben hatte, wobei auf 100 Theile Bodenwasser ein Theil Kochsalz kam; nachdem die ungedüngte durch Wassermangel zu welken anfing und aufgehört hatte zu wachsen, blieb die mit Salz gedüngte noch lange frisch und wuchs rüstig und gesund weiter, so daß sie jene bedeutend überholte.“ (Sachs[1]). Wenn, was übrigens gar nicht mehr zu bezweifeln ist, die Salzlösung einen solchen retartirenden Einfluß auf die Verdunstung hat, so sind gewiß auch die hohen endosmotischen Aequivalente sehr verdünnter Lösungen von wesentlicher Bedeutung; denn nur als höchst verdünnte Lösungen kommen die Salze in der natürlichen Nahrungsflüssigkeit vor. Die günstige Wirkung mancher Düngungsmittel wird in diesem Vorgange ihre Erklärung finden.

Allzustarke Verdunstung scheint auf die Gesundheit der Pflanze von üblem Einflusse zu sein; Sachs[2]) sah z. B. Pflanzen bei hinreichender Gegenwart von Wasser, wenn die Verdunstung stürmisch von Statten ging, besonders bei directer Einwirkung von Sonnenstrahlen, verwelken, wogegen Pflanzen unter gleichen Verhältnissen, deren Boden aber eine einprocentige Salzlösung enthielt, frisch blieben; es ist klar, daß die starke Verdunstung diese Erscheinung herbeiführte. Ueber die Ursache dieses merkwürdigen Phänomens können wir bis jetzt nur Vermuthungen haben. Sachs glaubt, daß durch den raschen Wasserstrom die turgescirenden Zellwände in ihrem molecularen Gleichgewicht gestört würden und dadurch erschlafften; wir haben indeß nichts, was auf solch' eine Störung und Erschlaffung hindeutete. Eine von mir beobachtete und früher schon besprochene Erscheinung dürfte wol Berücksichtigung finden, daß nämlich gelöstes Eiweiß bei Berührung mit vielem Wasser in eine eigenthümliche unlösliche, visköse Modification übergeht. Ich habe früher schon gesagt, daß diese Erscheinung bei der Membrandiffusion besonders stark hervortrete und eine mikroskopische Beobachtung angeführt, die eine solche Umwandlung auch für pflanzliches Eiweiß wahrscheinlich macht.[3]) Hier sei noch bemerkt, daß die Ausscheidung dieser Eiweißmodification auch stark erfolgt, wenn ich eine Membranröhre mit Eiweißlösung fülle und den einen Theil verdunsten lasse, während der andere durch Diffusion neue Mengen Wasser aufnimmt. — Es ist dies Experiment der gleiche Fall wie bei der Pflanze. Die Concentration der Eiweißlösung bedingt die Größe des Wassereintritts; je mehr Eiweiß ausgeschieden wird, um

[1]) A. a. O. Seite 224.

[2]) A. a. O. Seite 214.

[3]) Auch Schacht scheint etwas Aehnliches beobachtet zu haben; er sagt: das Protoplasma „gerinnt sehr häufig schon durch Einwirkung des Wassers.“ A. a. O. Seite 46.

so weniger Wasser wird in die Membranröhre eingeführt; wenn die verdunstende Fläche und die Diffusionsfläche unverändert bleiben und die Membran zu Anfang des Versuchs, wo noch eine stärker concentrirte Lösung in der Röhre war, eine gewisse Spannung hatte, so muß diese Spannung immer kleiner werden, die Membran erschlaffen, sobald weniger Wasser in die Röhre eingeführt wird — bleiben die verdunstende und die Diffusionsfläche gleich, während die Concentration der Lösung abnimmt durch Ausscheidung von Eiweiß, so wird erstens die Verdunstung stärker, weil aus einer minderconcentrirten Lösung mehr verdunstet, als aus einer stärker concentrirten; und zweitens wird die Aufnahme schwächer, weil eine weniger concentrirte Lösung auch weniger Wasser aufnimmt als eine stärker concentrirte: es muß also die Flüssigkeit in der Membranröhre an Volum abnehmen, die Membran ihre Spannung verlieren, zusammenfallen. Wenden wir Dies nun auf die Pflanze an. Die Zellen des saftleitenden Gewebes, des Cambiums, sind reich an Proteinsubstanzen, an Eiweiß. Jemehr Wasser durch dieselben geführt wird, um so mehr Eiweiß scheidet sich aus, und während aus der Pflanze fortwährend das Wasser in größter Menge durch die Verdunstung fortgeführt wird, kann durch die Wurzeln das fortgeführte nicht ersetzt werden, die Zellen verlieren ihre Spannung, die Pflanze ihre Straffheit, sie welkt. Wenn Sachs das Welken der im Wasser vegetirenden Pflanze bei vollkommen genügender Feuchtigkeit des Bodens beobachtete, so blieb die unter gleichen Verhältnissen in einem mit Salzlösung getränkten Boden vegetirende Pflanze frisch, während doch bei beiden die verdunstete Menge Wasser nicht sehr verschieden war (z. B. I. mit Wasser 31,9 Grm., II. mit Salzlösung 28,3 Grm.): auch Dies läßt sich erklären. Die Zellen der letzteren Pflanze enthalten neben ihrem Eiweiß auch noch das Salz der Lösung, welches ebensowol das Eiweiß am Ausscheiden verhindern kann, als auch durch seine beständige, durch die Verdunstung stärker werdende Concentration den Eintritt neuer Mengen Wasser begünstigt. Wie gesagt, mit Bestimmtheit läßt sich über diese Erscheinung noch nichts sagen; sie muß erst vielseitiger studirt werden, und dürfte das Gesagte vorläufig als Hauptgesichtspunkt der Untersuchung zu betrachten sein.

Die Diffusionswege in den Pflanzen.

Wo Zellen miteinander verbunden sind, geht die Diffusion aus einer Zelle in die andere. Haben einzelne Parthien eines solchen Zellencomplexes eine eigenthümliche Thätigkeit, so werden dieser auch eigene Diffusionsströmungen entsprechen. Die den Zellenparthien eigenthümliche Thätigkeit beruht entweder in einem besonderen Stoffverbrauch oder in einer besonderen Beschaffenheit der Zellenmembran oder auch in einer besonderen Stellung gegen die andern Zellenparthien. Alles, was die Physiologen Saftströmungen nennen, läßt sich auf solche Diffusionsströmungen zurückführen. Schon bei den Fucoiden muß sich eine Verschiedenheit der Saftströmung finden, sie muß in der Randparthie, welche aus 2—4 Reihen kleiner, runder oder polyedrischer Zellen gebildet ist, anders sein als in den Zellen der Mitte, welche weit, langgestreckt, von dickeren Schichten Intercellularsubstanz umgeben sind und häufig durch Porencanäle communiciren. Die Zellen der Mitte vermehren sich durch Theilung ihres Inhalts, die Mutterzellen umschließen ihre Tochterzellen ähnlich wie bei Ulotrix zonata; die älteren umschließenden Mutterzellen lösen sich in Intercellularsubstanz auf, welche dann scheibenartig die langgestreckte Zelle umgiebt (Schacht[1]). Die den Zellen der Mitte eigenthümliche zellen-neubildende Thätigkeit verlangt die Zuströmung der dazu nöthigen Stoffe. Die Längenausdehnung dieser Zellen deutet darauf hin, daß eine Diffusionsströmung in ihrer Längsrichtung, also auch in der Längsrichtung der Pflanze selbst erfolgt, die wahrscheinlich von den jüngern Parthien der Pflanze aus sich nach den älteren Parthien, deren äußerste Zellenreihe mit Cuticula überzogen und mehr oder weniger impermeabel geworden ist, verbreitet; es ist wahrscheinlich, daß grade die Zellen der Mitte nur die der Zellenbildung dienenden Stoffe führen, und daß auf die Zellen der Randparthien sich diese Stoffe nicht bewegen. Mit Bestimmtheit vermag ich indeß nichts darüber zu sagen, weil ich nicht Gelegenheit hatte, die Anatomie der genannten Pflanzen in diesen Beziehungen zu studiren.

Entschieden tritt die ungleiche Thätigkeit einzelner Zellenparthien erst bei höherorganisirten Pflanzen hervor. Während bei manchen Lebermoosen der Pflanzensaft — das Wasser und die in ihm gelösten Stoffe —

---

[1]) A. a. O. Seite 188 u. 110.

sich noch ziemlich gleichmäßig über alle Zellen verbreitet, während hier sich also noch keine Verschiedenwerthigkeit der Zellen findet: gestalten sich bei manchen andern Lebermoosarten die Zellen der Mitte zu einer eignen, von den andern Zellen — dem Parenchym — unterschiedenen Parthie, dem Cambium, welches aus dünnmembranigen, etwas in die Länge gestreckten Zellen besteht. Bei den Laubmoosen, Pflanzen, welche schon eine deutliche Gliederung in Stamm und Blatt zeigen, findet sich das Cambium allgemein verbreitet; die Mitte des Stengels einnehmend — centrales Cambium, centrales Gefäßbündel —, tritt es zuweilen auch in die Blätter ein, und zeigt sich auf der äußern Fläche des Blattes dann als sogenannter Mittelnerv. Wir haben es bei den Moosen also mit Pflanzen zu thun, welche in ihren wesentlichen Theilen den höheren Pflanzengruppen entsprechen; wir sehen das Cambium von dem Parenchym geschieden, die Pflanze sich zu Stamm und Blatt, welche verdunsten, und einem Aufnahmeorgan für die flüssigen Nahrungsstoffe — einer unechten Wurzel — gestalten. Es treten gleichzeitig hier aber alle Verhältnisse einfach auf. Wir besprechen deshalb die Diffusion der gewöhnlichsten Gewebtheile, des Cambium und Parenchym jetzt am besten.

In dem Vorkeime unterscheidet sich noch nicht das Cambium von dem Parenchym; hier sind noch alle Zellen gleich — Urparenchym —. Erst während der Entwicklung der Keimpflanze treten einige Zellenreihen als Cambiumzellen hervor, indem sie reichlich Proteinstoffe bilden, sich etwas in die Länge dehnen und sich durch Theilung vermehren. Wie ich vermuthe, bedingt es die eigenthümliche Stellung der aus dem Urparenchym als Cambium sich hervorbildenden Zellen gegen die äußere Nahrungsflüssigkeit, daß in sie grade vorzugsweise die zur Proteinbildung und zur Bildung anderer zellenbildenden Substanzen nöthigen Stoffe eintreten von außen und dadurch eine reichliche Bildung dieser Stoffe in ihnen begünstigt wird. Bilden diese Zellen nun vorwiegend Proteinstoffe, so ist die nächste nothwendige Folge davon, daß ihnen reichlich Wasser zugeführt wird und ihre Membran eine Ausdehnung, die Zelle eine Vergrößerung erleidet; eine andere Folge der Proteinbildung ist die Erzeugung neuer Zellen. Die ausgedehnte Membran, so lange sie sich noch nicht durch Ablagerung neuer Zellstoffmassen auf die innere Wand verdickt hat, ist permeabler als die umliegenden nicht ausgedehnten Parenchymzellen, die Diffusion kann in jenen deshalb leichter geschehen als bei diesen.

Die verdunstenden Zellen liegen an den Intercellulargängen und an den Athemhöhlen im Parenchym des Stengels und des Blattes; und da die Blätter eine im Verhältniß zum Stengel große Verdunstungsfläche darbieten, muß in ihnen grade die Verdunstung am lebhaftesten sein.

Von den Cambiumzellen her kann die Concentrationsausgleichung zu den verdunstenden Zellen am leichtesten stattfinden, weil sie proteinreich und in einem höheren Grade permeabel, der Diffusion des Wassers am günstigsten sind und das an die verdunstenden Zellen abgegebene Wasser am leichtesten wieder aus der Nahrungsflüssigkeit aufnehmen. Indem die Blätter beständig und große Mengen Wasser verdunsten, muß in dem Cambium eine rege und lebendige Molecularströmung des Wassers zugegen sein — eine Thätigkeit, welche von den Pflanzenphysiologen als „aufsteigender Saftstrom" bezeichnet wird, und welcher alle der Pflanze nöthigen anorganischen Stoffe aus der Nahrungsflüssigkeit in die Pflanze einführen soll. Daß aber diese Molecularbewegung nichts mit den anorganischen Stoffen zu thun hat, wissen wir bereits. In dem Cambium des Stengels muß, wegen der scharfen Abgrenzung von dessen Zellen gegen das Parenchym, die besprochene Wasserdiffusion in einem hohen Grade als eigenthümliche Strömung — Cambialströmung — hervortreten.

Außer Wasser müssen im Cambium auch noch alle jene Stoffe lebhaft diffundiren, welche bei der Bildung der Proteinsubstanzen und der Zellenneubildung eine Rolle spielen. In der jugendlichen Moospflanze ist die Neubildung der Zellen im Cambium am lebhaftesten. Durch Theilung der aus dem Urparenchym hervorgegangenen Cambiumzellen entstehen neue Zellen, welche theils zu Parenchymzellen des Stammes und Blattes werden, theils als eigentliches Cambium verbleiben; die Pflanze verdickt dadurch ihren Stamm und entwickelt ihre Blätter. Nachdem die Pflanze in ihrer einfachsten Gestalt fertig ist, beginnt die Zellenbildung bei manchen Moosarten in den Blattwinkeln; es bilden sich Aeste und das Cambium des Stammes setzt sich in die Aeste fort. Schließlich beschränkt sich dann die Zellenneubildung auf die Spitzen des Stammes und der Aeste, indem sich die Fortpflanzungsorgane — Sporangien — entwickeln. Ueberall im Cambium bilden sich reichlich Proteinsubstanzen, sie scheinen grade die Grundlage der Zellenbildung zu sein. Der Stoffwechsel der Zellenbildung veranlaßt in Bezug auf die consumirten Stoffe eine Concentrationsdifferenz, welche eine von dem Heerde der Zellenbildung zur Wurzel und Nahrungsflüssigkeit gehende Ausgleichung, eine vorwiegende Diffusion der consumirten Stoffe aus der Wurzel durch das Cambium zum Heerde der Zellenvermehrung, also von unten nach oben, zur Folge hat.

Das Cambium hat also verschiedene Molecularströmungen: erstens die des Wassers, welche die lebhafteste ist, weil verhältnißmäßig große Mengen Wasser durch die Pflanze geführt werden, und welche hinsichtlich

ihrer Stärke im Verhältniß zur Verdunstung in den Blättern steht und aus der Wurzel durch das Cambium zu den Blättern geht; zweitens die Strömung der zur Protein- und Zellenneubildung dienenden Stoffe, welche aus der Wurzel durch das Cambium zum Sitze der Neubildung geht und im Verhältniß zur Consumtion steht.

Neben den aufsteigenden Strömungen existiren im Cambium auch absteigende Strömungen, die freilich im normalen Leben der Pflanze gerade nicht zu einer Bedeutung gelangen. Zunächst rechnen hierher die im Cambium gebildeten Stoffe; weil dieselben aber eine so geringe Durchgangsfähigkeit besitzen, vermögen sie sich kaum vom Orte ihrer Entstehung zu entfernen, vielweniger aber noch sich weit über das Cambium und nach unten zur Wurzel zu verbreiten. Dann hat man die aus dem Parenchym in das Cambium diffundirenden Stoffe, meist auch organischer Natur, zu betrachten; sie besitzen meist eine größere Durchgangsfähigkeit, wie Zucker und Säuren, verbreiten sich über das Cambium und können gewiß auch durch die Wurzel zur Nahrungsflüssigkeit austreten, wenigstens wenn die Umstände günstig sind. Wir betreten hiermit die Wurzelausscheidung, welcher wir später ein eigenes Capitel widmen wollen. Schließlich bewegt sich in dem Cambium auch eine Wasserströmung nach unten, nämlich die, welche durch die aus der Nahrungsflüssigkeit eintretenden anorganischen Stoffe bedingt wird.

Wenden wir uns jetzt zu der Diffusionsthätigkeit des Parenchyms, jener Gewebsart, welche meist aus kleinen, runden oder polyedrischen Zellen mit wenig oder gar nicht verdickter Membran besteht, welche mit den Gefäßbündeln und dem Cambium die Masse der Pflanze ausmacht und vorwiegend Stärke, Zucker, Gummi, Harze, Oele, Blattgrün, Farbstoffe und Säuren bildet, weshalb es auch von manchen Physiologen Nahrungsgewebe genannt wird. Die mehr oder weniger runde Gestalt der Zellen bedingt es, daß sie sich nur an einzelnen Punkten ihrer Oberfläche gegenseitig berühren können; hierdurch entstehen Zwischenräume — die Intercellularräume —, welche in vielen Fällen communicirend, dann als Gänge das Gewebe des Parenchyms durchsetzen — Intercellulargänge — und in den Spaltöffnungen der Oberhaut münden. Die Intercellularräume und Gänge des Parenchyms, welches wir eben besprechen wollen, enthalten nie flüssige Stoffe, sondern Gase; das Parenchym bildet nie neue Zellen. Bei den Moosen umgiebt es das Cambium und wird nach außen durch die Zellen der Oberhaut begrenzt.

Die mit der Nahrungsflüssigkeit in Berührung stehenden Zellen nehmen aus dieser alle gelösten und durchgangsfähigen Stoffe auf und führen sie zunächst dem Cambium zu. Von hier aus müssen die auf-

genommenen Stoffe sich bis zur Concentrationsausgleichung, soweit sie auf permeable Zellen treffen, auf alle Theile der Pflanze verbreiten, also auch auf das Parenchym. Consumirt der Stoffwechsel in den Parenchymzellen einen gewissen Stoff, so wird für denselben eine vorwiegende Strömung durch das Cambium zur Nahrungsflüssigkeit gehen. Auch von den Intercellulargängen aus wird dem Parenchym Nahrungsstoff zugeführt; der wichtigste ist die Kohlensäure, welche bei vielen Pflanzen sogar im Parenchym chemisch nachgewiesen werden kann. Von dem flüssigen Inhalt der die Intercellulargänge begrenzenden Zellen aufgenommen — gelöst —, wird sie wie jeder andere gelöste Stoff von Zelle zu Zelle weiter diffundiren, und weil ihre Aufnahme durch das ausgebreitete Intercellularsystem des Blattes am reichlichsten erfolgt, muß von dem Parenchym der Blätter aus eine Strömung nach und durch das Parenchym des Stammes oder Stengels stattfinden. Die Gegenwart der Kohlensäure im Parenchym bedingt dort die Bildung von Zucker, Säure u. s. w. Auch hinsichtlich der Bildung dieser Stoffe sind es wieder die Blätter, wo die Thätigkeit am lebhaftesten sein muß, und um so mehr, als die Einwirkung der Lichtstrahlen ein wesentlicher Factor bei der Zersetzung und Umbildung der Kohlensäure ist und die Sonnenstrahlen gerade auf die Blätter am leichtesten und ausgebreitesten einwirken. Nachdem in den Parenchymzellen der Blätter sich die genannten Stoffe gebildet haben, diffundiren sie in die Parenchymzellen, deren Inhalt in Bezug auf sie weniger concentrirt ist oder gar nichts davon enthält, also auf das Parenchym des Stammes. Bei Pflanzen, wo der Stamm eine bedeutende Entwickelung erlangt hat, z. B. unsern Bäumen, bedingen die in den Blättern neugebildeten Stoffe eine Strömung nach dem und durch das Parenchym des Stammes — also von oben nach unten — eine Strömung, welche dem „absteigenden Saftstrome" der Physiologen entsprechen dürfte. Die im Parenchym nach unten gehende Diffusion der gelösten Stoffe hat nothwendig auch eine Diffusion des Wassers von unten nach oben zur Folge. Da wo das Parenchym nicht durch impermeable Zellenschichten vom Cambium abgeschlossen ist, diffundiren die gelösten Stoffe des Parenchyms auch in das Cambium und veranlassen wieder eine Wasserdiffusion in umgekehrter Richtung, aus dem Cambium in's Parenchym, wodurch seitliche Strömungen entstehen. Im Parenchym erleiden die neugebildeten organischen Stoffe manche Umwandlung, so geht ein lösliches Kohlenhydrat (Zucker?) in Stärkemehl über, welches sich unlöslich in den Zellen abscheidet. Auch werden dort viele andere Stoffe unlöslich (oft krystallinisch) ausgeschieden, wie pflanzensaure Salze, schwefel- und kohlensaurer Kalk. Natürlich wird eine solche Abscheidung

auch eine Strömung des ausgeschiedenen Stoffes nach dem Orte der Ausscheidung zur Folge haben.

Das Gesagte zusammenfassend, läßt sich die Circulation in der Pflanze zu dem folgenden allgemeinen Bilde darstellen. Alle in der Nahrungsflüssigkeit, mag sie nun tropfbarflüssig sein oder capillarisch den Boden durchdringen, gelösten und durchgangsfähigen Stoffe treten in die Zellen der Wurzel ein, verbreiten sich von da zunächst auf das Cambium, von hier aus gehen sie durch seitliche Strömungen auch auf das Parenchym über. Daß die durch die Wurzeln aufgenommenen Stoffe sich zunächst durch das Cambium verbreiten, läßt sich leicht durch die höhere Permeabilität der Membrane der Cambiumzellen, ihren Wasserreichthum und höchstwahrscheinlich auch durch ihre eigenthümliche Stellung erklären. Die Sache selbst läßt sich experimentell darstellen, wenn man eine Pflanze mit ihrem unverletzten Wurzelwerk (Wasserwurzeln) in eine gefärbte oder durch Reagenzien sich färbende Flüssigkeit setzt. Auf dem Querschnitte sieht man bald, daß die Cambiumzellen allein den in der Lösung enthaltenen Stoff führen; ist der Stoff von intensiver Farbe, so kann man ihn ohne Weiteres erkennen, tritt er erst durch ein Reagenz gefärbt hervor, so wendet man dieses auf dem Querschnitte an (Unger, Hoffmann). Mit der Zeit verbreitet sich auch die Versuchssubstanz vom Cambium immer weiter in's Parenchym, wenigstens bei Pflanzen, wo beide Gewebtheile nicht durch impermeable Schichten von einander getrennt sind. Am geeignetsten zu diesen Versuchen ist das Ferrocyankalium, welches gut diffundirt und eine intensivblaue Farbe bei Berührung mit Eisenoxydulsalz giebt. Von den Blättern aus wird dem Parenchym Kohlensäure zugeführt. Wird an irgend einem Orte in der Pflanze ein Stoff im Stoffwechsel consumirt oder sonst unlöslich ausgeschieden, so tritt der ausgeschiedene Stoff von Neuem ein, die Ausscheidung veranlaßt eine vorwiegende Strömung desselben von dem Organ der Aufnahme nach dem Orte der Consumtion oder Ausscheidung, um die durch die Ausscheidung oder Consumtion entstandene Concentrationsdifferenz wieder auszugleichen. Ebenso wird ein Stoff, welcher an irgend einem Orte neugebildet wird, insofern es seine Durchgangsfähigkeit erlaubt, sich von dem Orte der Neubildung aus verbreiten. Hierdurch nun entstehen im Cambium vorwiegende Strömungen von unten nach oben, im Parenchym von oben nach unten und zwischen Cambium und Parenchym seitliche Strömungen. Die Verdunstung von Wasser in den Blättern führt größere Mengen Wasser durch die Pflanze, dessen vorherrschender Weg die Diffusion durch das Cambium ist.

Bei den Moosen ist das Verhältniß der einzelnen Gewebstheile zu einander noch einfach; hier finden wir noch ein centrales Cambium, umgeben von Parenchym. Höher im Pflanzenreiche hinaufsteigend, werden diese Verhältnisse mannigfaltiger, die Organisation complicirter. Bei den Farrnkräutern tritt das Gefäßbündel, dessen einer Theil das Cambium ist, aus dem Centrum der Pflanze heraus, es ist in mehrere Parthien getrennt, diese sind auf das Parenchym vertheilt und meist kreisförmig (auf dem Querschnitte) gestellt, und zwar so, daß der Gefäßbündelkreis das Parenchym in eine innere — Mark — und eine äußere Portion — Rindenparenchym — scheidet. Bei der jugendlichen Pflanze findet man nur Parenchym- und Cambiumzellen; während des Lebens einer solchen Pflanze verlängern sich manche Zellen des Cambiums auffallend, sie verdicken sich dann in ihrer Wandung; an den sich berührenden Enden der Zellen wird die Membran resorbirt und indem die Hohlräume der Zellen frei in einander übergehen, werden röhrenförmige Gestalten gebildet — Gefäße. Anfänglich enthalten die Gefäße noch Flüssigkeit, später verliert sich diese, und sie führen dann Luft. Mehrere solcher Gefäße bilden mit den zurückgebliebenen Cambiumzellen das — Gefäßbündel. Bei den Farrnkräutern tritt also zuerst das echte Gefäßbündel auf. Die Gefäße liegen hier in der Mitte des Cambiums. Bei einzelnen Farrnkräutern verdickt und verholzt sich auch die Membran der auf der Grenze zwischen Cambium und Parenchym liegenden Zellen, und weil diese dann gar nicht oder doch nur in einem sehr geringen Grade permeabel sind, so ist die Diffusion zwischen Cambium und Parenchym ganz aufgehoben oder doch bedeutend geschwächt. Es müssen mithin in einem solchen Falle die Cambial- und Parenchymströmungen recht abgegrenzt hervortreten. Eine für uns interessante Erscheinung bei den Farrnkräutern bieten die Fortpflanzungsorgane, die Sporenhäufchen, welche, auf den Blattnerven sitzend, jedenfalls in naher Verbindung mit dem Cambium der Gefäßbündel stehen, und deren Stoffverbrauch auf die Strömungen im Cambium gewiß von Einfluß ist.

Bei den Equisetaceen sind die Verhältnisse mit wenigen Ausnahmen wie bei den Filices. Bei Rhizocarpeen und Lycopodiaceen ist das Gefäßbündel wieder central. Bei einer Lycopodiacee — Selaginella brasiliensis — liegt das Gefäßbündel frei in dem Innern eines Luftcanals, welcher von Rinde umgrenzt wird; das Gefäßbündel steht nur mit einigen wenigen Zellen mit dem Parenchym der Rinde in Verbindung, wodurch es in dem Luftcanal gehalten wird.

Um das Verhalten des Gefäßbündels und des Cambiums bei den Phanerogamen leichter zu verstehen, wollen wir nochmals zu den Moosen

zurückkehren. Bei Sphagnum nämlich stellt das Cambium auf dem Querschnitte des Stammes oder vielmehr Stengels einen vollständig geschlossenen Ring dar, welcher das Parenchym in Mark und Rinde trennt. Bei den Monokotylebonen findet man das Cambium beständig ringförmig — Cambium- oder Verdickungsring —; in demselben entwickeln sich nie Gefäße; wol aber bilden sich durch ihn neue Parenchymzellen, wodurch nach innen das Mark, nach außen das Rindenparenchym vermehrt und das Dickenwachsthum bedingt wird. Außer dem Cambiumringe haben die Monokotylebonen auch noch Gefäßbündel, welche, zerstreut auf den Querschnitt des Stammes gestellt, die Markparthie des Parenchyms in der Längsrichtung durchziehen. Das Gefäßbündel besteht im jugendlichen Zustande nur aus Cambiumzellen, später verwandelt ein Theil derselben sich in Gefäß- und Bastzellen, während der andere Theil als eigentliches Cambium verbleibt. Das Cambium des Gefäßbündels liegt in der Mitte des letzteren, nach dem Marke zu umgeben von Gefäßen, nach der Rinde hin umgeben von Bastzellen. Bei den Monokotylebonen tritt in den Bastzellen ein neues Zellenelement den bekannten hinzu. Sie sind meist sehr langgestreckte, nie oder doch erst spät sich verdickende, stets von Parenchym umgebene Zellen, welche keine neue Zellen bilden, sich dagegen zuweilen verzweigen. Entweder treten sie einzeln oder in Bündeln — Bastbündel — auf. In ihnen bilden sich neben den, dem Parenchym eigenthümlichen auch noch manche andere Stoffe, wie Alkaloide u. s. w. und oft ein Milchsaft, in welch letzterem Falle sie dann Milchsaftgefäße heißen (Schacht). Die Bastzellen gehen aus dem Cambium hervor und bilden auch in ihrem späteren Leben einen Bestandtheil des Gefäßbündels; sie stehen wie die Cambiumzellen wahrscheinlich mit den verdunstenden Zellen des Blattes in Verbindung und nehmen das an die letzteren abgegebene Wasser zumeist aus den Parenchymzellen, welche ihr nahe liegen, auf. Die Diffusion des Wassers aus den Parenchymzellen in die Bastzellen wird um so leichter stattfinden können, als in dem Inhalte der letzteren oft Stoffe mit großem endosmotischen Aequivalente gelöst sind. Dadurch, daß die Bastzellen dem Parenchym Wasser entziehen, erklärt sich auch vielleicht die Thatsache, daß in den Parenchymzellen, welche Bastzellen nahe liegen, Stoffe, besonders Kalksalze in krystallinischer Form ausgeschieden sind, wenigstens dürfte es mit dadurch bedingt sein.

Die Gefäßbündel der Monokotylebonen verzweigen sich, verbinden sich untereinander, gehen in Blatt und Blüthenorgane über; die Gefäßbündel der ganzen Pflanze stehen mit einander in Verbindung. Das Cambium derselben erzeugt nur im jugendlichen Zustande neue Zellen;

sobald das Gefäßbündel sich vollständig entwickelt hat, hört die Zellenneubildung auf; das zurückgebliebene Cambium dient dann nur noch der Diffusion vorzüglich zwischen Wurzel und End- und Seitenorganen — Knospen, Blüthenorganen, Blättern —. Die Gefäße selbst, wenn ihre Wände bis zu einem gewissen Grade verdickt sind, spielen nur eine untergeordnete Rolle bei den Diffusionsströmungen, und sobald sie Luft führen, sind sie als todt zu betrachten. Das Gefäßbündel der Monokotyledonen ist nicht fortbildungsfähig.

Bei den Dikotyledonen sind Cambiumring und Gefäßbündel ebenfalls gleichzeitig vorhanden; die Stellung beider gegeneinander unterscheidet indeß wesentlich die Monokotyledonen von den Dikotyletonen. Die Gefäßbündel sind kreisförmig auf den Querschnitte gestellt, und ihr Cambium fällt mit dem Cambiumringe zusammen; beide bilden einen geschlossenen Kreis. Das Cambium der Dikotyledonen ist fortbildungsfähig d. h. kann fortwährend neue Zellen bilden; nach innen, nach dem Marke hin bilden sich Gefäße und Holzzellen, nach außen Bastzellen und Rindenparenchym. In unserm Klima ist die zellenbildende Thätigkeit für gewisse Zeit unterbrochen; am Ende der Vegetationsperiode, im Herbste, hört sie auf, bei mehrjährigen Pflanzen fängt sie dann beim Erwachen der Vegetation im Frühjahr wieder von Neuem an; es bildet sich so in jeder Vegetationsperiode ein Holzring, wodurch das Dickenwachsthum des Stammes ein dauerndes ist — Jahresringe unserer Bäume. Die Zellenneubildung im Cambium geht auf eine etwas eigenthümliche Weise vor sich. Ein Theil der Cambiumzellen, die nach innen gelegenen, theilen ihren Inhalt der Länge nach und bilden von Geburt langgestreckte Zellen, welche, in ihren Wandungen sich bedeutend verdickend, in Gefäße und Holzzellen übergehen. Die Holzzellen dehnen sich noch etwas aus und schieben sich mit ihren spitzen Enden zwischen einander. Die junge ausgebildete Holzzelle führt noch einen flüssigen Inhalt, welcher sich indeß später verliert. So lange die Holz- und Gefäßzellen noch einen flüssigen Inhalt haben, gehen Diffusionsströmungen aus der einen in die andere und in's Cambium, was dadurch möglich ist, daß die Verdickung und Verholzung der Zellenwand stellenweise durch Spalten und Porencanäle durchbrochen ist, und die Hohlräume der Spalten und Canäle der verdickten Wand der einen Zelle mit denjenigen der anderen Zelle communicirt; die primäre Zellenmembran bleibt dabei erhalten und bildet eine Scheidewand da, wo die Hohlräume der Poren ꝛc. auf einander stoßen.

Das Cambium sorgt durch Bildung eines eigenen Zellenelementes dafür, daß ein Stoffaustausch zwischen ihm und der Rinde einerseits und dem Marke anderseits und zwischen Rinde und jungem Holze möglich;

es sind dies die Markstrahlzellen, welche aus dem Cambium in wagerechter Richtung nach dem Rindenparenchym und, die senkrecht verlaufenden Holzzellen durchsetzend, nach dem Marke gehen. Die Markstrahlzelle verholzt erst spät, sie bleibt deshalb länger permeabel als die Holzzelle und ist oft viele Jahre mit Saft erfüllt. Ihre Verbindung mit dem Parenchym macht, daß bei vielen Pflanzen aus letzterem stärkemehlbildende und vielleicht andere Stoffe in sie und in die Zellen des Markes diffundiren und dort ausgeschieden werden. Stärkemehl findet man oft in diesen Zellen.

Ein anderer Theil der Cambiumzellen, die nach außen liegenden, theilen ihren Inhalt nicht in der Längsrichtung, sondern quer, wodurch kurze Zellen gebildet werden, aus denen die mehr oder weniger runden Zellen des Rindenparenchyms hervorgehen.

Die Bastzellen sind meistens von Geburt langgestreckte Zellen und entstehen dann durch Theilung des Inhaltes in der Längsrichtung.

Schließlich müssen wir noch der Zellen der Oberhaut gedenken, eine Zellenschicht, welche die Pflanze nach außen begrenzt. Die Zellen der Oberhaut zeigen sich in der mannigfaltigsten Form; immer aber stoßen sie so aneinander, daß eine vollkommen geschlossene, d. h. nicht durch Intercellularräume durchbrochene Schicht (Haut) gebildet wird (nur die Spaltöffnungen durchbrechen sie). Die Anatomen unterscheiden drei Arten von Oberhaut: Epithelium, Epidermis und Epiblema.

Die Zellen des Epitheliums besitzen stets eine zartwandige Membran, welche niemals oder doch höchst selten verkorkt, sie sind im jugendlichen Zustande klein, nach außen abgerundet, sie verlängern sich nach außen oft papillenförmig oder zu Haaren und sind in der Regel reich an Protoplasma, also auch an Proteinsubstanzen. Die zarte Beschaffenheit ihrer Membran verursacht, daß aus ihrem Inhalte Stoffe auf die Oberfläche leicht austreten können — sie secerniren. Die Secretion ist jedenfalls nur ein rein mechanischer Vorgang. Wenn überhaupt eine Membran Wasser verdunstet, so treten die im Wasser gelösten Stoffe mit in die Molecularinterstitien ein, verlassen dieselben oft mit dem verdunstenden Wasser, bleiben jedoch auf der Oberfläche der Membran zurück, während das Wasser von derselben abdunstet. Die gelösten Stoffe werden um so mehr mit austreten, je stärker die Spannung der Membran ist, d. h. je stärker der Inhalt gegen die Membran nach außen drückt. Bei den Epitheliumzellen ist dies nun der Fall, sie enthalten reichlich lösliche Proteinsubstanzen, oder schleimige Stoffe oder Zucker, wodurch die Membran leicht in Spannung versetzt wird. Das verbreitetste Secret des Epitheliums mag wol der Zucker sein; auch findet sich oft Schleim und

ätherisches Oel. Letztere, mit Luft in Berührung kommend, verharzen oft, so daß das Harz dann als das eigentliche Secretionsproduct erscheint. Das Epithelium muß sich demnach an allen secernirenden Flächen finden: an der Narbe, dem Staubwegkanal, in der Fruchtknotenhöhle, an den Nectarien der Blüthenorgane, den Harzgängen, Harz- und anderen Drüsen. Die Oberhaut vieler Blüthenblätter besteht aus Epitheliumzellen, deren Membran hier jedoch so dicht zu sein scheint, daß gar kein oder doch nur äußerst wenig Wasser durch sie verdunstet und nur ätherische Oele in verschwindend kleinen Mengen die Molecularinterstitien passirt. Diese Zellen dürften indeß auch zu einer andern Art von Oberhautzellen gehören.

Das Epiblema ist die äußerste Zellenschicht der Wurzel; es besteht aus dünnmembranigen, abgeplatteten Zellen, welche sich meistens zu Haaren verlängern — Wurzelhaare. Es umkleidet alle jungen Haupt- und Nebenwurzeln, überhaupt alle Theile, welche Wurzelhaare entsenden. Bei älteren Wurzeln verschwindet das Epiblema mit den Wurzelhaaren und wird in den meisten Fällen durch Korkbildungen ersetzt. Die Epiblemazellen stehen zunächst mit der Nahrungsflüssigkeit in Berührung, nehmen aus derselben Stoffe auf, die von hieraus dann auf die anderen Gewebstheile der Wurzel übergehen. Die Aufnahme kann nach dem Obengesagten nur durch die jüngsten Wurzeltheile erfolgen, weil die Epiblemazellen an den älteren Wurzeltheilen impermeabel werden und verschwinden. Eine fortwährende Neubildung von Epiblemazellen geschieht in dem Urparenchym der Wurzelspitze, welches letztere auch durch fortwährende Zellenvermehrung die Wurzel verlängert.

Die Epidermis bedeckt die atmosphärische Axe der Pflanze und ihre hauptsächlichsten Nebenorgane — Stamm und Blätter —. Ihre Zellen sind meistens abgeplattet und verdicken sich; besonders ist es die äußere, mit der Luft in Berührung stehende Wand der Zelle, welche sich am stärksten verdickt. Auch sie entsenden haarförmige Gebilde und secerniren gewisse Stoffe, welche bei ihr indeß erhärten und einen impermeablen Ueberzug bilden — die Cuticula. Die Cuticularbildungen der Epidermis schließen die Wechselwirkung zwischen der Atmosphäre und dem Inhalte der Zellen ab, sie verhindern somit die Verdunstung von der Oberfläche der Pflanze aus; dahingegen ist die Epidermis von den Spaltöffnungen durchbrochen, welche das Innere der Pflanze mit der Atmosphäre in Verbindung bringen. Auch die Haare der Epidermis müssen von Cuticula bedeckt sein; weshalb für sie das oben bei den Blumenblättern Gesagte gilt.

In den Epidermiszellen findet man von den anorganischen Stoffen die Kieselsäure am meisten vertreten; sie lagert sich in der Zellenmembran selbst ab und zwar bei manchen Pflanzen so stark, daß bei dem Verbrennen der Oberhaut ein Skelett von Kieselsäure in der Form der Zelle zurückbleibt. Der Weg, welchen die Kieselsäure oder das kieselsaure Salz nimmt, ist jedenfalls direct aus den Zellen der Epiblema in die Epidermis; allem Anscheine nach geht sie nicht durch das Cambium und Rindenparenchym zur Epidermis; auf diesem Wege würde sie gewiß wegen ihrer geringen Durchgangsfähigkeit und der eigenthümlich zersetzenden Wirkung der Membran auf das durchgehende kieselsaure Salz nicht an Ort und Stelle gelangen. Wenn im Allgemeinen die Kieselsäure sich auch auf die Zellen der Epidermis beschränkt, so kommt es doch auch vor, daß sie (bei Equisetum hiemale) auf die der Epidermis zunächst gelegenen Zellenreihen übergeht. Wir sehen hier also eine besondere Diffusionsströmung von dem Epiblema durch die Zellen der Epidermis. Aber nicht die Kieselsäure allein, auch viele andere Stoffe diffundiren auf diesem Wege; es müßte uns gewiß auffallend erscheinen, wenn nicht alle Stoffe, welche die Nahrungsflüssigkeit gelöst enthält und mit den Epiblemazellen in Berührung kommen, direct aus dem Epiblema in die Zellen der Epidermis diffundirten, wenigstens so lange dieselben auf der innern Seite noch wenig verdickt und vollständig permeabel sind. Aus den Epidermiszellen werden die dorthin diffundirten Stoffe auch auf die zunächstliegenden Zellenreihen des Parenchyms übergehen, wie bei Equisetum hiemale die Kieselsäure. So sehen wir denn auch bei vielen Pflanzen die zur Protein- und Zellenbildung nöthigen Stoffe auf dem Diffusionswege durch die Oberhautzellen nach den unter ihnen gelegenen Zellen in so großer Menge diffundiren, daß eine Neubildung von Zellen an diesem Orte — in der Rinde dicht unter der Oberhaut — erfolgt. Ueberall in der Pflanze, wo die Bedingungen zur Zellenbildung gegeben sind, wird diese auch erfolgen; zu diesen Bedingungen gehören nun vorzugsweise die Proteinsubstanzen; wenn sich dieselben in einer Zelle anhäufen, tritt eine Theilung des Inhaltes und in Folge dessen die Neubildung von Zellen ein. Es kann uns deshalb nicht wundern, unter der Oberhaut, wenn dahin proteinbildende Stoffe aus der Nahrungsflüssigkeit diffundiren, ein Generationslager eben so wie im Cambium entstehen zu sehen. Am häufigsten ist das Product einer solchen Bildungsschicht der Kork — ein Zellengewebe, bei welchem die Cellulose der Membran sich in Korkstoff verwandelt, und welches, dann vollständig impermeabel, die Diffusion überall abschließt, wo es vorkommt. Das Bildungsgewebe des Korkes bleibt oft lange thätig und erzeugt dann nach außen hin viele Lagen von Zellen, wie

wir dies bei unsern Bäumen sehen, bei welchen Kork ein wesentlicher Bestandtheil der Rinde ist und die meist abgeworfene Oberhaut ersetzt, d. h. die Pflanze nach außen abschließt.

Wir wollen nun die Diffusionsbewegungen an einer Pflanze während einer Vegetationsperiode verfolgen; wir wählen am besten hierzu einen dikotyledonen Baum. Seine Gewebselemente sollen in dem Stammtheile folgende sein: zu innerst Mark; darauf nach außen auf einanderfolgend Holz und Gefäße, Cambium, Rindenparenchym mit Bastzellen, das Bildungslager des Korkes und am weitesten nach außen Kork, welcher die Oberhaut ersetzt; Rinde, Cambium, junges Holz und Mark sind durch Markstrahlen mit einander verbunden; die jungen Zweige und Blätter werden nach außen von Epidermis begrenzt, der Kork fehlt ihnen noch. Blätter haben sich noch nicht entwickelt, wir stehen also am Anfange der Vegetationsperiode. Der Inhalt der Cambiumzellen ist concentrirt. Die Wärme der Frühlingssonne dringt in den Boden ein, wodurch die Diffusion, welche bei der niederen Temperatur des Winters nicht möglich war, erwacht; es treten nun Diffusionsbewegungen zwischen der Nahrungsflüssigkeit und dem Inhalte der Epiblemazellen und Wurzelhaare ein, welche von hier aus in das Urparenchym der Wurzel und dann in das Cambium des Wurzelgefäßbündels gehen. Im Cambium einerseits wurden die anorganischen Stoffe während des Herbstes und Winters durch den Stoffwechsel consumirt, und weil die Diffusion zwischen der Nahrungsflüssigkeit und der Wurzel in dieser Zeit darniederlag, konnten keine neuen Mengen der consumirten Stoffe eingeführt werden, weshalb denn auch der Zelleninhalt in Bezug auf sie niedrig concentrirt ist und im Frühjahr um so mehr an Concentration abnimmt, als die Proteinstoffe u. s. w. Wasser einführen und den Inhalt verdünnen; andrerseits wurden im Boden während des Winters pflanzliche Nahrungsstoffe löslich gemacht und dadurch die Nahrungsflüssigkeit concentrirt: es sind hier somit alle Bedingungen zu einer lebendigen Diffusion gegeben. Die anorganischen Stoffe gehen in's Cambium, werden hier zu Proteinstoffen u. s. w. verarbeitet, wodurch dann das Wasser in so reichlicher Menge in das Cambium eingeführt wird, daß seine Zellen, so lange wie die Blätter sich noch nicht entwickelt haben, in Spannung versetzt werden. Nun sehen wir eine eigenthümliche Erscheinung eintreten, den vielbesprochenen Frühlingssaftstrom in den Gefäßen. Das Cambium steht, wie bekannt, mit den luftführenden Gefäßen und dem jungen Holze durch die Porenkanäle der Holzzellen und die verdünnten Stellen der Spiralgefäße in seitlicher Verbindung. Die Spannung der Cambiumzellen verursacht ein Durchpressen von Flüssigkeit durch die

Membran, die vorzüglich da erfolgt, wo die Membran der Cambiumzellen die nicht verdickten Stellen der Membran der Gefäßzellen berührt. Auf diese Weise also gelangt Flüssigkeit in die Gefäße. Dieser Vorgang verführte die alten Physiologen, die Gefäße als die eigentlichen Organe der Saftführung zu betrachten, daher denn auch der Name; jetzt indeß ist diese Ansicht schon so antiquirt, daß man ihrer nicht weiter zu gedenken braucht. Die Blätter entwickeln sich, die Verdunstung beginnt und führt beständig Wasser aus dem Cambium fort; der Druck in den Cambiumzellen läßt nach, es wird keine Flüssigkeit mehr in die Gefäße gepreßt, und die vor der Blattentwickelung dahin gelangte verliert sich allmälig wieder.

Aus dem Cambium diffundiren das Wasser und die gelösten Stoffe in das Parenchym der Rinde und durch die Markstrahlen in das Mark; manche hier unlöslich abgeschiedenen Stoffe, wie Stärkemehl, lösen sich wieder und treten in Circulation, um der Zellenbildung und andern Processen zu dienen.

Im Cambium entwickeln sich neue Zellen, welche im Verlaufe der Vegetation nach dem Marke hin in Gefäße und Holzzellen, nach außen hin in Parenchym- und Bastzellen verwandelt werden, während der andere Theil der Cambiumzellen als eigentliches Cambium verbleibt und der Diffusion dient. Durch das Cambium gelangen die Nahrungsstoffe in die End- und Seitenorgane und veranlassen hier ebenfalls eine zellenbildende Thätigkeit; hierher gehört zuerst das Blatt, dann die Terminalknospe an den Stamm- und Zweigenden, durch deren Zellenvermehrung das Längswachsthum der Pflanze bedingt ist, die Seitenknospen in den Blattwinkeln, die meistens neue Aeste bilden, und schließlich die Frucht- und Blüthenorgane.

Haben die Blätter sich entwickelt, so wird von ihnen Kohlensäure aufgenommen und durch die Intercellulargänge dem Parenchym zugeführt, in welches die Kohlensäure, vielleicht bei Gegenwart aus der Wurzel zugeführter Stoffe, in organischen Stoff umgewandelt wird. Aus früher angegebenen Gründen ist die Bildung dieser Stoffe im Parenchym des Blattes am lebhaftesten, und sie diffundiren von hier in das Parenchym der Stammtheile und unter Umständen in's Cambium.

Ebenso wie dem Cambium bei dem Beginn der Vegetationsperiode Stoffe zugeführt werden, geschieht dies auch in das Entwickelungslager der Oberhaut; auch hier wird dann eine Zellenneubildung erfolgen. (Korkbildung).

Die Wurzelausscheidung.

Die Frage, ob auch Stoffe aus der Pflanze durch die Wurzel in die Nahrungsflüssigkeit austreten können, ist lange eine Streitfrage gewesen; die Acten sind bis heute noch nicht darüber geschlossen. Früher schrieb man der Pflanze gar wunderliche Sachen zu: die eine Pflanze sollte Stoffe durch ihre Wurzel ausscheiden, welche andern schädlich seien. In der jüngsten Zeit vertrat eine botanische Zeitschrift[1]) diese Theorie, die Excrementtheorie; an diesem Orte können wir uns darüber belehren. „Es ist hinreichend bekannt, daß die Wurzeln in ihren feinsten Endigungen gewisse Flüssigkeiten ausscheiden, die den benachbarten Pflanzen entweder schädlich oder nützlich sind. Aus diesem Grunde soll man sich die Zuneigung, Sympathie, oder Abneigung, Antipathie, gewisser Gewächse unter einander erklären können. So weiß man, daß die Farbedistel, Serratula tinctoria, dem Hafer schädlich ist, daß das Korn vom Berufskraute, Erigeron acre, der Lein von der Scabiosa verdrängt wird.“ Für uns hat dieses Curiosum freilich nur ein historisches Interesse, weil die Excrementtheorie längst schon antiquirt ist, und man muß darüber erstaunen, heute noch bei Botanikern eine solche physiologische Unkenntniß zu finden; es geht den descriptiven Botanikern, besonders den sogenannten Heusammlern oft so. Lange glaubte man, daß durch die Wurzel nichts auszutreten vermöge; Schleiden wies jedoch darauf hin, daß jede endosmotische Bewegung auch von einer entsprechenden exosmotischen begleitet werde, daß mithin die Möglichkeit einer Wurzelausscheidung nicht ausgeschlossen sei[2]). Bei der Betrachtung der Diffusionsverhältnisse einer isolirten Zelle habe ich gezeigt, daß sowol gegen eintretende Stoffe Wasser aus der Zelle austritt, als daß auch die in der Zelle neugebildeten Stoffe, wenn ihre Durchgangsfähigkeit es gestattet, aus der Zelle in die Nahrungsflüssigkeit auszutreten vermögen. Auch bei Zellencomplexen vermag ein Stoff, welcher in einer Zelle gebildet wird, in eine andere überzugehen und sich über den ganzen Zellencomplex zu verbreiten. Wir haben es bei der Besprechung der Wurzelausscheidung mit den in der Pflanze gebildeten, besonders den organischen Stoffen zu thun. Für niedre Pflanzen, wo die Zellen noch ziemlich gleichwerthig

---

[1]) Oesterreichisches botanisches Wochenblatt Nr. 17, 1857. (X. Landerer.)

[2]) Schleiden, Grundzüge der Botanik.

sind, können wir mit Bestimmtheit annehmen, daß die in ihren Zellen gebildeten, leicht durchgangsfähigen Stoffe in die Nahrungsflüssigkeit durch die aufnehmenden Zellenparthien austreten; Zucker, organische Säuren u. s. w. werden auf diesem Wege die Pflanze mehr oder weniger verlassen. In den Flechten z. B. wird Oxalsäure gebildet; Slater[1]) glaubt nun, daß diese die Pflanze verlassen und die Gesteine, worauf sie lebt, zersetze. Beiläufig bemerkt, hält er die Zersetzung der Felsarten durch Oxalsäure für möglich, weil er beobachtete, daß die genannte Säure fein gepulvertes Glas unter Entziehung von Kalk und Alkali sehr rasch angreift. Die Oxalsäure zersetzt auch nach ihm manche phosphorsauren Salze, was für uns von Interesse ist. Besonders bei den im Wasser untergetaucht vegetirenden Gewächsen wird deshalb schwerlich eine Anhäufung solcher Stoffe (und wahrscheinlich des Stärkemehls, was doch jedenfalls aus einem löslichen Kohlenhydrate hervorgeht) möglich sein. Ob das Mikroskop dies bestätigt, müssen wir abwarten. Bei höher organisirten Pflanzen, solche, bei welchen in abgegrenzten Zellenparthien besondere Diffusionsströmungen vorkommen, werden gelöste leicht durchgangsfähige Stoffe sich durch die Zellenparthien und aus einer in die andere bewegen und auf die Wurzel und Nahrungsflüssigkeit übergehen können, insofern der Weg dahin von permeablen Zellen gebildet wird.

Das Cambium steht zunächst mit der Nahrungsflüssigkeit in Verbindung; die in seinen Zellen gelösten, dort gebildeten oder von anderswo dorthin gelangten Stoffe haben das Bestreben, sich mit der Nahrungsflüssigkeit auszugleichen, eben so wie die gelösten Stoffe der Nahrungsflüssigkeit das Bestreben haben, sich mit dem flüssigen Inhalte der Cambiumzellen in's Gleichgewicht zu setzen. Nun erzeugt aber das Cambium vorwiegend Stoffe, die eine äußerst geringe Durchgangsfähigkeit besitzen — Proteinsubstanzen u. s. w., die kaum die Zelle, worin sie gebildet wurden, zu verlassen vermögen, vielweniger aber noch durch das Cambium sich zur Wurzel verbreiten und in die Nahrungsflüssigkeit austreten können; sie häufen sich in dem Cambium an. Anders aber verhält es sich mit jenen Stoffen, welche aus dem Parenchym in das Cambium gelangen und in einem höhern Grade durchgangsfähig sind.

Nur von der Kohlensäure ist mit Bestimmtheit nachgewiesen, daß sie durch die Wurzeln ausgeschieden wird. Besonders die Versuche von Liebig und Herth haben darüber entschieden[2]). Wenn eine Wurzel von tropfbarflüssigem Wasser umgeben, und dies in Bezug auf Kohlensäure

[1]) J. W. Slater, Chem. Gaz. 1856. Seite 130.

[2]) Auf der 34. Versammlung deutscher Naturforscher in Karlsruhe.

niedriger concentrirt ist, als der flüssige Zelleninhalt der Pflanze, so muß nothwendig Kohlensäure aus der Pflanze auf das Wasser übertreten. Die Pflanze wird durch ihre Blätter so lange Kohlensäure aufnehmen, bis die Flüssigkeit ihrer Zellen damit gesättigt ist, und so lange Kohlensäure an die Nahrungsflüssigkeit abgeben, bis diese nichts mehr davon aufzunehmen vermag. Eine Sättigung dürfte indeß in diesem Falle schwerlich eintreten, weil in der Pflanze der Stoffwechsel beständig Kohlensäure zersetzt, die Atmosphäre sie auch nicht in so großer Menge darbietet. Ob Landpflanzen an ihre sich in capillarisch gebundenem Zustande befindliche Nahrungsflüssigkeit und an den Boden selbst Kohlensäure abgeben, wird von gewissen Umständen abhängen. Ein Boden, welcher keine Kohlensäurequelle beherbergt, wird wol der Pflanze Kohlensäure entziehen; denn in ihm sind neben der Diffusionsanziehung seines Wassers auch noch eine Flächenanziehung seiner Molecularaggregate, welche besonders in einem thonreichen Boden große Mengen Kohlensäure bindet, und eine chemische Anziehung vieler Bodensubstanzen thätig, welche letztere zersetzend auf manche Bodenbestandtheile wirkt — Verwitterung und Löslichmachung phosphorsaurer Salze u. s. w. Liebig glaubt, daß die Kohlensäureausscheidung eine große Rolle bei der Aufnahme der Nahrungsstoffe spiele: überall im Boden, wo die aufnehmenden Wurzelzellen mit unlöslichen, durch Kohlensäure aber gelöstwerdenden Stoffen, wie phosphorsaurer Kalk, in Berührung kommen, soll die Kohlensäure an diese Stoffe aus den Zellen austreten, sie auflösen und aufnehmbar machen. Das ist nun freilich richtig; aber ob dies auch in einem Boden stattfindet, welcher selbst Kohlensäurequellen hat, wie unser kultivirter und jeder andere mit reicher Vegetation bedeckter Boden, worin beständig pflanzliche Ueberreste, Humus und drgl. sich zersetzen und nicht unbedeutende Menge Kohlensäure liefern, muß ich bezweifeln: hier werden jedenfalls die anziehenden Kräfte des Bodens leichter durch die in ihm selbst entwickelte Kohlensäure befriedigt und die Nahrungsflüssigkeit gesättigt, so daß man hier eher eine Ueberführung der Kohlensäure in die Pflanze zu erwarten hat. Hierfür sprechen auch manche Pflanzen, wie z. B. unsere Cerealien, welche, trotzdem sie blätterarm sind, doch große Mengen Kohlenhydrate erzeugen und in sich anhäufen.

Aehnlich wie die Kohlensäure verhalten sich vielleicht auch die in der Pflanze erzeugten organischen Säuren, welche, in dem Parenchym gebildet, sich durch das Cambium auf die Wurzelzellen verbreiten, hier in die Nahrungsflüssigkeit austreten und je nach ihrer Natur Zersetzungen gewisser Bodenbestandtheile einleiten. Die Oxalsäure, von welcher Slater nachwies, daß sie phosphorsaure Salze zersetzt, dürfte wol zu

beachten sein. Durch ihre zersetzende Wirkung und durch ihr Austreten in den Boden erklärt sich vielleicht die Thatsache, daß ein Boden, der wegen Mangels an aufnehmbarer Phosphorsäure nur kümmerlich Cerealien zu produciren vermag, doch noch reichliche Ernten von Rübengewächsen, deren Parenchym reich an einer nicht flüchtigen Säure, wahrscheinlich an Oxalsäure ist, liefert. Beiläufig bemerkt, ist für Runkelrüben der Reichthum an gelöster Oxalsäure nachgewiesen.

Ob auch Zucker und andere leicht durchgängige Stoffe auf dem vorhingenannten Wege die Pflanze verlassen, wissen wir noch nicht, dürfen es jedoch mit der größten Wahrscheinlichkeit annehmen. Gelangt Zucker in's Cambium, so muß er unbedingt auch auf die Nahrungsflüssigkeit diffundiren, und man sollte meinen, daß der Diffusion des Zuckers aus dem Parenchym in's Cambium bei vielen Pflanzen nichts im Wege stände; bei anderen Pflanzen jedoch, besonders bei solchen, wo das Cambium durch impermeable Zellenschichten außer Verbindung mit dem Parenchym gesetzt ist, wird eine solche Diffusion freilich ganz unmöglich oder sehr geschwächt sein — Schleiden's geschlossene Gefäßbündel u. s. w. Vielleicht ist dies der Fall bei Saccharum officinarum, Sorghum saccharatum. Auch ist es nicht unmöglich, daß Zellen, welche in größerer Menge Zucker enthalten, eine Membran besitzen, welche nur in einem geringen Grade für Zucker impermeabel ist. Landpflanzen, die in größrer Menge Zucker erzeugen, würden schon Zucker in sich anzuhäufen vermögen, wenn auch keine der obengenannten Diffusionshemmungen zugegen ist; wenn man bedenkt, daß die Nahrungsflüssigkeit nur in geringer Menge im Boden vorhanden ist und nur kleine Antheile des gebildeten Zuckers in sie aus der Pflanze überzutreten brauchen, um das Gleichgewicht zwischen ihr und der Zellenflüssigkeit herzustellen, so leuchtet die Möglichkeit des Gesagten ein. Vielleicht tritt dieser Fall bei den Zuckerrüben und anderen zuckerreichen Wurzeln und Knollen auf. Es ließe sich daraus auch wol erklären, weshalb Rüben in einem sandigen Boden, dessen geringe Sättigungscapacität für Wasser nur kleine Mengen capillarisch davon festzuhalten vermag, gewöhnlich zuckerreicher werden, als in einem thonreichen Boden, in dem weit größere Mengen capillarisch festgehaltenes Wasser vorkommen, und weshalb Zuckerrüben [1]) nach einem starken oder anhaltenden Regen, wo der Boden also reich an Wasser wird, oft mehrere Procente Zucker verlieren.

Ich wollte in dem Vorstehenden darthun, daß eine Ausscheidung von in der Pflanze gebildeten Stoffen durch die Wurzel nicht unmöglich

---

[1]) Nach einer mündlichen Mittheilung des Hrn. Prof. Eichhorn in Poppelsdorf.

sei; es läßt sich theoretisch nichts dagegen einwenden. Versuche müssen zeigen, ob in Wirklichkeit Dies stattfindet, und wo bei Anhäufung gewisser leicht diffundirender Stoffe in der Pflanze doch nicht eine Ausscheidung durch die Wurzel erfolgt, wird der Anatom uns über die Ursache aufzuklären haben Herth konnte die Wiederausscheidung „fester Stoffe" (sollen das vielleicht anorganische sein?) bei seinen Versuchen nicht nachweisen. Uebrigens ist im Allgemeinen dieser Gegenstand noch wenig experimentell behandelt worden.

Die Ausscheidung anorganischer Stoffe, wo die Bedingungen dazu gegeben sind, wenn also die Zellflüssigkeit in Bezug auf sie concentrirter ist als die Nahrungsflüssigkeit, ist nicht mehr zu bezweifeln; es ist Das durch meinen Versuch mit Scrophularia aquatica und durch viele Versuche Knop's [1]) vollständig bewiesen. Wie im Experiment kann Dies auch in der Natur vorkommen: wenn z. B. bei anhaltender Trockenheit die Nahrungsflüssigkeit und die Zellflüssigkeit eine gewisse Concentration erlangt haben und die Concentration der Nahrungsflüssigkeit durch einen starken oder durch anhaltenden Regen geringer wird; oder wenn in der Pflanze Stoffe aus der Lösung verschwinden und sich anhäufen, die aber später wieder in Lösung übergehen.

Bei dem Reifen der Pflanzen scheint der Rücktritt gewisser gelöster oder häufiger doch in gelöster Form vorhandener anorganischer Stoffe aus der Pflanze in die Nahrungsflüssigkeit allgemein vorzukommen. In dieser Periode verliert die Pflanze Wasser, der Zellsaft wird immer concentrirter, wodurch dann weiter eine Gleichgewichtsausgleichung zwischen der Zellflüssigkeit und der Nahrungsflüssigkeit unbedingt eintreten muß, welche unter Umständen den Uebertritt gewisser Stoffe auf die Nahrungsflüssigkeit herbeiführt. Arendt [2]) hat diesen Vorgang bei der Haferpflanze mit Evidenz nachgewiesen; in der letzten Zeit des Reifens verlor die Pflanze Kali und Chlor, welcher Verlust anders nicht als durch Austreten dieser Stoffe durch die Wurzel entstanden sein konnte. Ich werde in einem späteren Capitel ausführlich auf die Arendt'schen Beobachtungen zurückkommen. Tritt aber gleichzeitig mit dem Reifen der Pflanze auch eine Austrocknung des Bodens ein, so ist es fraglich, ob noch Stoffe aus der Pflanze austreten; denn durch die Austrocknung des Bodens wird auch die Concentration der Nahrungsflüssigkeit erhöht und sie kann leicht so hoch steigen, daß sie in Bezug auf gewisse Stoffe, welche unter anderen Umständen aus der Pflanze austreten würden, der

---

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen, Heft 4, Seite 86.
[2]) Wachsthum der Haferpflanze.

Concentration der Zellflüssigkeit gleichkommt. Es geht daraus hervor, daß Pflanzen, welche unter gewissen Bodenverhältnissen bei dem Reifen Stoffe durch ihre Wurzel austreten lassen, unter andern Bodenverhältnissen Dies nicht thun.

Ich habe vorhin gesagt, das Stoffe des Parenchyms, welche durch die Wurzel ausgeschieden werden, ihren Weg durch das Cambium nehmen, daß aber diese Stoffe nicht zur Wurzel gelangen können, wenn Cambium und Parenchym so abgegrenzt sind, daß keine Diffusion zwischen ihnen möglich ist. Dieser letzte Fall nun scheint ein häufiger zu sein und bei Pflanzen vorzukommen, deren bis jetzt bekannten anatomischen Verhältnisse es nicht vermuthen lassen. Ich beobachtete bei vielen Pflanzen (Cruciferen u. s. w.), daß das Cambium alkalisch reagirte, während das Parenchym, wie bei den meisten Pflanzen, saure Reaction zeigte: stände nun bei diesen Pflanzen Cambium und Parenchym in einem diffusiongestattenden Zusammenhange, so würde die alkalische Reaction des Cambiums, die, wie ich später zeigen werde, höchstwahrscheinlich von kohlensauren Alkalien herrührt, nicht zugegen sein können, weil dann die Säure des Parenchyms hierher diffundire. In der Wurzelspitze laufen Cambium und Parenchym, das Urparenchym der Wurzelspitze bildend, zusammen. Aber auch dieses scheint bei jenen Pflanzen nicht mit dem Parenchym der höheren Theile in diffusionsgestattender Verbindung zu stehen; wäre dieses der Fall, so müßte, wenn auch in den höheren Pflanzentheilen Cambium und Parenchym vollständig abgegrenzt sind, doch die Säure des Parenchyms der höheren Theile auf das Cambium der höheren Theile übergehen, indem sie zunächst nach unten in das Urparenchym und dann aus diesem nach oben in das Cambium diffundire, grade so wie auch andere Stoffe, welche, aus der Nahrungsflüssigkeit in das Urparenchym übertretend, in das Cambium der höheren Theile gelangen. In diesen Fällen muß demnach eine gänzliche Isolirung des Parenchyms vorhanden sein und aus ihm werden durch das Cambium keine Stoffe in die Nahrungsflüssigkeit gelangen können. Ebensowenig werden aber auch Stoffe aus dem Cambium in's Parenchym dringen können; und wenn wir doch im Parenchym Stoffe, wie anorganische finden, so fragt es sich, auf welchem Wege diese dorthin gelangt sind. Zunächst liegt die Vermuthung nahe, daß die Abgrenzung beider Gewebspartien im jugendlichen Alter der Pflanze nicht bestand, daß vor der Abgrenzung sich anorganische Stoffe auf das Parenchym verbreitet und abgelagert hatten, die vielleicht erst später verarbeitet werden. Ich habe früher schon gezeigt, daß bei vielen Pflanzen dicht unter der Oberhaut sich ein eigner

Diffusionsweg gebildet hat; es ist, wo sich ein solcher Diffusionsweg findet, wohl anzunehmen, daß auf diesem Wege anorganische Stoffe des Parenchyms in jeder andern Hinsicht mit der Nahrungsflüssigkeit in Verbindung stehen und eine Wurzelausscheidung stattfinden kann. Vielleicht haben auch die Bastzellen als Diffusionsweg zum Parenchym eine gewisse Bedeutung. Hier hat die Pflanzenanatomie noch ein weites unbearbeitetes Feld vor sich.

Die Vertheilung und Verbreitung der Stoffe über die Pflanze.

In dem Vorhergehenden suchte ich im Allgemeinen die Wege anzudeuten, auf welchen Stoffe in die Pflanze eintreten, auf welchen sie sich durch die Pflanze hindurch, von einem Ort zum andern, bewegen; die Natur der Stoffe ließ ich gänzlich unberücksichtigt. Die vorwaltenden Stoffe der einzelnen Wege und Gewebstheile kennen zu lernen, muß für uns von dem größten Werthe sein; denn einestheils lernen wir daraus die physiologische Thätigkeit der betreffenden Zellenparthien kennen, anderntheils finden wir darin auch Andeutungen über die Bedeutung der anorganischen für die Bildung der organischen Stoffe, was ja das eigentlich practische Ziel der meisten pflanzenphysiologischen Untersuchungen ist. Leider ist aber dieser Theil der Pflanzenphysiologie gründlich vernachlässigt. Es mag dies wol zu einem großen Theile in der Schwierigkeit der Untersuchung selbst liegen, da die Trennung der einzelnen Zellenparthien und Organe nicht immer leicht ist, und die Immediatanalyse der organischen Stoffe auch grade nicht zu den angenehmsten gehört und bis jetzt auch noch auf einer unvollkommenen Stufe der Ausbildung steht; aber alle diese Schwierigkeiten würden sich schon besiegen lassen; den größten Theil der Schuld trägt wol die Chemie, welche zu wenig die Wünsche der Physiologie berücksichtigt; besonders trifft dieser Vorwurf die Agriculturchemie, die heute ja fast die einzige Vertreterin der phytophysiologischen Chemie ist. Der Aschenanalysen sind eine Unzahl gemacht worden, sie haben uns jedoch keinen Einblick in die physiologische Thätigkeit der Pflanzen gestattet; sie repräsentiren meistens nur den Gesammtgehalt der Pflanze, nicht aber den Gehalt der einzelnen Gewebstheile und Organe, die doch in ihrer Zusammensetzung verschieden je nach ihrer Thätigkeit sind, noch vielweniger zeigen sie den Zusammenhang mit den in der Pflanze gebildeten organischen Stoffen. Die wenigen Untersuchungen, welche sich auf einzelne Organe und Gewebstheile einer

Pflanze in ihren verschiedenen Entwickelungsstadien beziehen, sind von de Saussure, Schulz-Fleth für Roggen, Scheeven für Gerste, E. Wolf für Weizen und Hafer, Arendt für Hafer, Garreau für verschiedene Pflanzen und von einigen anderen. Bei allen diesen Untersuchungen bezieht sich die Menge der anorganischen und organischen Stoffe auf Trockensubstanz, wodurch sie für uns von geringerem Werthe sind, weil wir nicht wissen, welche Stoffe und in welcher Menge ein gewisser Stoff in gelöster und in ungelöster Form in der Pflanze vorkommt, wie groß die Concentration des Zellsaftes ist. Dies Alles müssen wir wissen, wollen wir eine genügende Einsicht in die Verbreitung der Stoffe bekommen; weil uns hierzu aber kein Material vorliegt, so müssen wir, was da ist, so gut wie möglich benutzen, da wir dann doch wenigstens zu Andeutungen der bezüglichen Verhältnisse kommen.

Wurzel und Stamm.

Das Verhältniß der Bestandtheile zwischen der atmosphärischen und der unterirdischen Axe der Pflanzen ist bis jetzt noch wenig Gegenstand der Untersuchung gewesen; die wenigen Arbeiten über Wurzeln, welche wir besitzen, beziehen sich auf solche, die durch Cultur eine anormale Entwicklung genommen haben. Hinsichtlich der organischen Stoffe ist es bekannt, daß sich in solchen Wurzeln besonders Kohlenhydrate — Zucker und Stärkemehl — anhäufen. Außerdem muß in ihnen auch die Bildung zellenerzeugender Stoffe eine reichliche gewesen sein; denn ohne Dies würde sich die bedeutende Entwicklung der Parenchyms, welchem eine lebhafte Zellenentwickelung zu Grunde liegt, nicht zu erklären sein; ein großer Theil dieser Stoffe muß durch den Zellenbildungsproceß verschwunden sein. Das Verhältniß der Proteinsubstanzen in fleischigen Wurzeln und Knollen zu dem Zellstoff in ihnen ist in der Regel nicht bedeutend verschiedener als wie auch im Stengel krautiger Pflanzen.

Ob die in den Wurzeln sich anhäufenden organischen Stoffe hier auch erzeugt sind, oder ob sie aus den Stammorganen hierher diffundiren, wissen wir nicht; wenn man jedoch annimmt, daß zur Bildung der Kohlenhydrate aus Kohlensäure das Licht unentbehrlich ist, so muß man es auch für wahrscheinlich halten, daß in den Stammorganen, vorzüglich den Blättern die Erzeugung der sich unten anhäufenden Kohlenhydrate erfolgt, oder wenigstens, daß in den Blättern die Kohlensäure in ein X verwandelt werde, welches, leicht diffundirend, in das Parenchym der Wurzeln gelangt und hier in Zucker oder Stärkemehl sich umbildet. Daß Stärkemehl an dem Orte der Ablagerung gebildet wird, brauch' ich wol kaum zu bemerken. Ueber die Natur dieses X wissen wir ebenfalls nichts;

ein schleimiges Kohlenhydrat dürfte es wol nicht sein, denn ein solches mit seiner geringen Durchgangsfähigkeit würde schwerlich in größerer Menge den Ort seiner Erzeugung verlassen können. Liebig sprach einmal [1]) die Vermuthung aus, daß die Oxalsäure die erste organische Form sein könne, in welche Kohlensäure und andere Kohlenhydrat erzeugende anorganische Stoffe übergingen; die Vermuthung hat durch Alexander Müller's und Mittenzwei's [2]) Arbeiten über Runkelrübenblätter bedeutend an Wahrscheinlichkeit gewonnen. Sie fanden in diesen Blättern bedeutende Mengen Oxalsäure in gelöster und ungelöster Form, bis zu 10 % der Trockensubstanz. Ich komme später auf diese interessante Arbeit zurück.

Da, wo sich in der Wurzel Zucker anhäuft, wo sich also der Zelleninhalt des Parenchyms in Bezug auf Zucker concentrirt, müßte derselbe auch in die Stammorgane hinaufdiffundiren; es müßte demnach die Concentration des Zellsaftes der Wurzel nicht verschieden sein von der des Zellsaftes im Rindenparenchym.

Ueber die Wechselwirkung des Zelleninhaltes der Wurzel und der Nahrungsflüssigkeit habe ich früher schon (bei der Wurzelausscheidung) Andeutungen gegeben.

Ueber den Unterschied in der Vertheilung der anorganischen Stoffe auf Wurzel und Stammorgane läßt sich bis jetzt wenig sagen. Bei krautigen Pflanzen enthält die Trockensubstanz des Stengels procentisch mehr anorganische Stoffe als die Wurzel, was darin seine Erklärung findet, daß durch den lebhafteren Stoffwechsel in Stengel und Blatt und durch andere chemische Processe mehr Stoffe unlöslich ausgeschieden werden. Einige Untersuchungen über die Zusammensetzung der Asche der Blätter und Wurzeln von Runkelrüben und ähnlichen Wurzel- und Knollengewächsen zeigen, daß das Kali in den Wurzeln vorherrscht, dagegen Kalk und Magnesia in ihnen zurücktritt, daß die Phosphorsäure meistens auch in den Wurzeln vorherrscht und Schwefelsäure und Chlor mehr gleichmäßig über die ganze Pflanze verbreitet sind; die Kieselsäure ist im Allgemeinen in der Oberhaut der atmosphärischen Pflanzentheile stärker vertreten als in der Wurzelrinde.

Garreau [3]) wies für verschiedene Bäume (Kirsche, Pappel, Nußbaum, Apfel- und Birnbaum) nach, daß die Rinde der Wurzel ärmer an

---

[1]) Die Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Agricultur.

[2]) Landwirthsch. Versuchsstationen, Heft 3, Seite 241.

[3]) Recherches expérimentales (sur la distribution des matières minérales fixes dans les divers organes des plantes). 1859. p. 14.

mineralischen Stoffen ist als die Rinde der atmosphärischen Axe. Die verschiedenen Theile der Wurzel und ihre Entwickelung hat derselbe Forscher zum Gegenstande von Untersuchungen gemacht, und will ich diese, weil sie uns eine nicht unbedeutende Einsicht gestatten, hier anführen. Ich werde später noch öfter Gelegenheit nehmen, Garreau'sche Untersuchungen mitzutheilen, weshalb ich die Art und Weise der Aschenbestimmung bei seinen Arbeiten nicht unerwähnt lassen darf. Es wurden zunächst die Gewebstheile oder Organe an der Luft getrocknet, auf einer Mühle (moulin à noix) in ein gröbliches Pulver übergeführt, an der Luft in einem Wasserbade bei 100° C. getrocknet und gleich gewogen — Trockengewicht —, dann in einem Silbertiegel verkohlt und in einem Platingefäße vollständig eingeäschert und die Asche warm gewogen. In den Aschen ist also die Kohlensäure mit inbegriffen.

Die untersuchten Wurzeln waren von einem Nußbaume genommen und zwar in verschiedenem Alter; das Alter ist ausgedrückt durch die Dicke der Wurzeln. Zuerst wurde die Aschenmenge der ganzen Wurzel, dann die ihrer Rinde und ihres Holzes bestimmt. [1])

100 Theile Trockensubstanz (bei 100° getrockn.) geben Asche:

Mittlere Dicke der Wurzel	die ganze Wurzel	die Rinde	das Holz
0,m0005	4,30	4,50	3,00
0,m0010	3,00	4,00	2,00
0,m0300	2,00	4,00	1,50
0,m1000	1,50	4,30	1,40

Nur die Rinde des ganz jungen Würzelchens scheint etwas aschenreicher zu sein als die älterer Wurzeln; im Allgemeinen ist der Gehalt an anorganischen Stoffen in der Wurzelrinde als gleich anzusehen. In dem Holze nehmen die anorganischen Stoffe mit dem Alter ab, was jedenfalls der Vermehrung der organischen Materie in den Holz- und Gefäßzellen zuzuschreiben ist. In der jüngsten Wurzel sind die Holz- und Gefäßzellen noch wenig entwickelt, ihre Wand ist fast noch vollständig permeabel; es können die anorganischen Stoffe noch ungestört in die später sich zu Holzzellen und Gefäße umbildenden Zellen eintreten; allmälig aber lagern sich neue Schichten organischer Materie auf die innere Wand dieser Zellen ab; die Ablagerung wird immer bedeutender und die Zellen werden incrustirt. Gleichzeitig mit der Verdickung der

[1]) A. a. O. Seite 8.

Zellenmembran verschwindet der flüssige Inhalt, d. h. das Wasser nimmt ab, der Inhalt concentrirt sich und giebt von seinen gelösten Stoffen, besonders den leichtdiffundirenden anorganischen an die Cambiumzellen ab, insofern diese noch mit den Holzzellen und Gefäßen durch Spalten und Porenkanäle in Communication stehen; später sind die letztgenannten Zellen völlig frei von flüssigem Inhalte. Die Gefäße und Holzzellen haben einen größeren Gehalt an organischer Masse als gleiche Mengen zellsaftreicher Rindenzellen, und weil eine Zellenpartie um so mehr (gelöste) anorganische Stoffe enthält, als sie wasserreicher ist, so kommt es denn, daß gleiche Mengen Trockensubstanz der Rinde und des Holzes für erstere mehr anorganische Stoffe geben als für letztere. Das letztgenannte Verhältniß wird durch das folgende Beispiel klar werden. Eine Zellenpartie (I.) enthalte in 100 Gewichtstheilen 90 Wasser und 10 Trockensubstanz, eine andere (II.) in 100 Theilen 80 Wasser und 20 Trockensubstanz; der Zellsaft in beiden sei gleichconcentrirt in Bezug auf anorganische Stoffe, er enthalte in 100 Theilen Wasser 1 Theil Salz; auf die 100 Theile der Zellenpartie I. kommen 0,9 Salz; auf 100 Theile der Zellenpartie II. 0,8 Salz; mithin sind in 10 Trockensubstanz von I. 0,9 und in den 20 Trockensubstanz von II. 0,8 Salze enthalten, was auf 100 Trockensubstanz von I. 9 Salz und auf 100 Trockensubstanz von II. 4 Salz giebt. Die Beachtung dieses Verhältnisses ist von besonderer Wichtigkeit für die Beurtheilung der Vertheilung der anorganischen Stoffe.

In Betreff der vorstehenden Untersuchung darf man auch nicht außer Acht lassen, daß in den Zellen des Wurzelrindenparenchyms, wie bei der Rinde atmosphärischer Pflanzentheile, manche Stoffe unlöslich ausgeschieden werden, wie kohlensaurer, schwefelsaurer, oxalsaurer Kalk und dergleichen, wodurch der Procentgehalt der Trockensubstanz an anorganischen Stoffen noch erhöht wird.

Ueber das Verhältniß der einzelnen anorganischen Stoffe zu einander in Rinde und Holz sind mir keine Arbeiten bekannt. Für Kartoffeln theilt Schulz-Fleth [1]) Analysen mit, welche sich auf ganze Knollen, also Parenchym mit den in ihm abgelagerten Stoffen, auf Rindenschichten oder auf Schalen, aus Oberhautzellen und Korkschicht bestehend, beziehen. Gehören die Kartoffelknollen auch zu den Stammorganen, so können sie doch kaum in ihrer chemisch-physiologischen Thätigkeit wesentlich verschieden sein von wirklichen Wurzeln, deren Parenchym sich fleischig entwickelt hat. Die zur Untersuchung gekommenen Schalen sind nicht

---

[1]) Der rationelle Ackerbau, Seite 88 und 94.

von den Kartoffelknollen der Untersuchung. Das Material war von verschiedenen Sorten genommen.

100 Theile Trockensubstanz enthalten Asche (incl. Kohlensäure)

Ganze Kartoffelknollen				Kartoffelschalen		
1	2	3	4	1	2	3
2,98	5,03	3,91	4,44	8,73	10,32	9,72

Hinsichtlich der Aschenbestandtheile sei bemerkt, daß in der Asche der ganzen Kartoffeln Alkalien, Phosphorsäure, Chlor und Schwefelsäure gegen die Asche der Schalen entschieden vorherrschen, daß dagegen in den ersteren gegen die letzteren Kalk, Eisenoxyd, Kieselsäure und Kohlensäure zurücktreten und Magnesia in beiden nicht wesentlich verschieden ist.

Garreau untersuchte die Wurzelfasern (fibrilles) von Wasser- und Landpflanzen; seine Resultate sind in der folgenden Tabelle enthalten.

100 Theile Trockensubstanz enthielten Asche [1])

Pflanzen		jüngere Wurzelfasern	ältere Wurzelfasern
Wasserpflanzen	Hottonia palustris	23,00	27,00
	Veronica Beccabunga . . .	20,00	23,00
	Ranunculus aquatilis . . .	21,08	26,02
	Ranunculus sceleratus . . .	20,00	23,00
	Hippuris vulgaris	20,06	22,00
	Oenanthe phellandrium . .	25,85	33,00
Landpflanzen	Helianthus tuberosus . . .	15,90	12,70
	Mercurialis annua	18,70	13,07
	Ribes rubrum	11,14	6,04

Um die Schwankungen im Gehalte der einzelnen anorganischen Stoffe beurtheilen zu können, theile ich noch eine andere Tabelle Garreau's mit:

[1]) A. a. O. Seite 7.

100 Theile Asche von Wurzelfasern sind zusammengesetzt aus [1])

	Oenanthe phellandrium ausgewachsene Wurzelfasern	Oenanthe phellandrium ältere Wurzelfas.	Ranunculus aquatilis, ältere Wurzelfas.	Sinapis nigra, Würzelchen	Triticum sat. Wurzelfas.
Kali und Natron . .	24,91	12,02	9,65	18,30	36,00
Kalk	24,05	35,03	27,73	17,80	3,00
Magnesia	4,47	4,77	4,75	15,50	13,00
Phosphorsäure . . .	3,25	0,92	0,93	45,00	47,00
Schwefelsäure	2,75	0,80	1,37	1,00	—
Kohlensäure	30,32	33,78	29,77	—	—
Chlor	6,07	3,03	3,41	0,50	—
Kieselsäure	2,00	3,00	3,00	—	—
Eisenoxyd	1,00	5,00	16,00	—	—
Kohle und Verlust .	1,18	1,65	3,39	1,90	1,00

Berechnet man die für Oenanthe gefundenen Zahlen auf Trockensubstanz, indem man die Aschenmengen der ersten Tabelle zu Grunde legt, so gestaltet sich die Zusammensetzung der Aschen wie folgt:

	100 Theile Trockensubstanz enthalten bei		Bei den älteren Wurzelfasern	
	ausgewachsf. Wurzelfasern	älteren Wurzelfasern	Abnahme	Zunahme
Kali und Natron . .	6,439	3,967	2,472	—
Kalk	6,217	11,560	—	5,343
Magnesia	1,155	1,574	—	0,419
Phosphorsäure . . .	0,840	0,304	0,536	—
Schwefelsäure	0,711	0,264	0,447	—
Kohlensäure	7,838	11,147	—	3,309
Chlor	1,569	1,000	0,569	—
Kieselsäure	0,517	0,990	—	0,473
Eisenoxyd	0,259	1,650	—	1,391
Kohle und Verlust .	0,305	0,544	—	—
Summa	25,850	33,000	4,024	10,936

Die Gesammtzunahme der Trockensubstanz an anorganischen Stoffen ist also, wie die letzte Tabelle zeigt, in der Zunahme des Kalkes, der

[1]) A. a. O Seite 24.

Magnesia, des Eisenoxyds, der Kohlensäure und Kieselsäure begründet und scheint durch die Abscheidung in unlöslicher Form hervorgerufen zu sein. Die Abnahme des Kali's, der Schwefelsäure, Phosphorsäure und Chlor's scheint nicht allein eine blos relative, durch Zunahme andrer Stoffe bedingte zu sein, sie kann auch noch durch andere Ursachen hervorgerufen werden, wie aus der folgenden Betrachtung wahrscheinlich wird. Die Wurzelfasern sind die letzten End- und Seitenglieder der Wurzel; sie sind von dem Epiblema umkleidet, welches die Wurzelhaare entsendet, und sie tragen an ihrer Spitze das fortbildende Gewebe, das Urparenchym, wodurch die Faser verlängert wird. Das Epiblema und die Wurzelhaare bedecken sich mit einer dünnen Lage von Cuticula, wodurch die Zellen mehr oder weniger an Permeabilität verlieren. Die Cuticula wird indeß an jungen Wurzelfasern noch gar nicht oder hier doch in einem geringeren Grade vorhanden sein als bei älteren; auch die Membran der Epiblemazellen und der Wurzelhaare verändert sich mit dem Aelterwerden, indem sie verkorkt oder verholzt, was besonders bei Landpflanzen am meisten der Fall zu sein scheint, und wodurch die Zellen ebenfalls an Permeabilität verlieren oder ganz impermeabel werden: ältere Wurzelfasern sind demnach, ihre ganze Oberfläche betrachtet, weniger permeabel als jüngere — die jüngsten Theile aller Wurzelfasern, das Urparenchym, — die Wurzelschwämmchen — sind in ihrer Thätigkeit gleich. Die gelösten Stoffe diffundiren aus den aufnehmenden Zellen fort; während aber bei den jüngern Wurzelfasern der Inhalt dieser Zellen noch in lebhaftem Verkehr mit der Nahrungsflüssigkeit steht, werden die fortdiffundirenden Stoffe von außen wieder ersetzt; weniger oder gar nicht mehr ist dies der Fall bei älteren Wurzelfasern, deren aufnehmende Zellen zu einem großen Theile schon in in ihrer Permeabilität geschwächt sind, hier auch diffundiren die Stoffe fort, sie werden aber nicht so leicht von der Nahrungsflüssigkeit aus ersetzt. Dies festhaltend, kann man sich wol eine absolute Abnahme der gelösten Stoffe in den älteren Wurzelfasern denken, und es würde sich dann auch erklären, weshalb die leicht diffundirenden Stoffe und diejenigen, welche in größerer Menge im Stoffwechsel consumirt werden (Kali, Phosphorsäure, Schwefelsäure und Chlor) als abnehmende erscheinen. Die absolute Zunahme anorganischer Stoffe beruht jedenfalls nur allein in der Ausscheidung des Kalkes, der Kohlensäure, des Eisenoxyd's und der Kieselsäure.

Aus den vorstehenden Tabellen geht weiter hervor, daß die Trockensubstanz der Landpflanzen procentisch ärmer an anorganischen Stoffen ist als die Trockensubstanz der Wasserpflanzen. Es könnte Dies wol in einem größeren Procentgehalte der Nahrungsflüssigkeit der Wasserpflanzen an

solchen Stoffen, welche in der Wurzel unlöslich ausgeschieden werden (kohlensaurem Kalk, Kieselsäure und Eisenoxyd) begründet sein, während, wie es scheint, diese Stoffe in der Nahrungsflüssigkeit der Landpflanzen mehr zurücktreten; wahrscheinlicher jedoch wird die Ursache dieser Erscheinung der größere Wasserreichthum der Wurzelfaserzellen der Wasserpflanzen sein, deren Wurzeln ja mit tropfbarflüssigem Wasser in Berührung stehen. Die Zellen der Wasserwurzeln sind ausgedehnter, größer, ihr Inhalt ist in Bezug auf organische Stoffe, wenigstens in Bezug auf Proteinsubstanzen weniger concentrirt und ärmer als dies bei Wurzeln der Fall ist, welche sich in einem Boden mit capillarisch gebundenem Wasser entwickelt haben. So fand ich es wenigstens bei Weizen, welcher im Wasser (sehr verdünnter Salzlösung) vom Keime an vegetirt hatte, verglichen mit anderem, welcher in stark gedüngtem Boden gewachsen war.[1]) Rechnet man nun noch hinzu, daß die Wurzelfasern der Landpflanzen meistens schon entwickelte Gefäße besitzen, deren Wände sich mit organischer Materie incrustirt haben, so kann es wohl kaum anders sein, als daß in ihnen gegen die Wurzelfasern der Wasserpflanzen die organische Trockensubstanz vorherrscht und das Wasser zurücktritt; und weil, wie ich früher gezeigt habe, ein Zellengewebe eine um so aschenreichere Trockensubstanz giebt, als es wasserreicher ist, so läßt sich wohl erklären, weshalb die Trockensubstanz der Wurzelfasern bei Landpflanzen ärmer an Asche ist als bei Wasserpflanzen. Ganz entgegengesetzt dem Verhalten der jüngeren gegen die älteren Wurzelfasern bei den Wasserpflanzen ist es bei den Landpflanzen; bei diesen nimmt der procentische Gehalt der Trockensubstanz an Asche mit dem Alter ab. Es dürfte dies seine Ursache haben einerseits in dem geringen Procentgehalte der Nahrungsflüssigkeit an löslichen Kalk und Eisensalzen und an Kieselsäure, wodurch nur eine geringe Ausscheidung dieser Stoffe erfolgen kann, anderseits und zwar vorwiegend in der Bildung der Gefäße und des Holzes in den Wurzelfasern, was ein Ueberwiegen der organischen Substanz in den älteren Wurzelfasern, wo diese Gebilde schon mehr entwickelt sind, gegen die jüngern zur Folge hat, und schließlich dürfte auch die bei Landpflanzen leicht und stark eintretende Cuticularisirung und Verkorkung des Epiblema und der Wurzelhaare mitwirken, wodurch die von hier fortdiffundirenden Stoffe nicht so leicht oder gar nicht mehr aus der Nahrungsflüssigkeit ersetzt werden.

---

[1]) Die Nüance des Rosenroth bei Behandlung der Wurzelfasern mit Zucker und Schwefelsäure, gestattet wol ein Urtheil über den Gehalt der Zellen an Proteinsubstanzen; je intensiver das Roth hervortritt, um so reicher muß wol die Zelle an Proteinstoffen sein.

Künftige Wurzeluntersuchungen werden alle diese Verhältnisse zu berücksichtigen haben; es wird sich dann zeigen, in wie weit die theoretischen Erklärungen sich bestätigen.

Die Stammorgane.

Betrachtet man den Stamm oder Stengel einer entwickelten dikotyledonen Pflanze im Querschnitt, so findet man ihn aus verschiedenen mehr oder weniger abgegrenzten Zellenpartien bestehend, deren jede eine eigene chemische und physiologische Thätigkeit hat und in Folge dessen auch eine eigene Zusammensetzung hinsichtlich ihrer organischen und anorganischen Bestandtheile haben muß. Wir unterscheiden Rinde mit Korkschichten, Rindenparenchym mit Bastzellen, Cambium, Gefäße und Holz, Mark und Markstrahlen. Die mikrochemische Untersuchung hat dargethan, daß das Cambium besonders reich an Proteinsubstanzen ist, dagegen Stärkemehl nie in ihm gefunden wird; daß im Parenchym der Rinde und des Markes, welches durch die Markstrahlen in Verbindung steht, die Kohlenhydrate vorwiegend vertreten sind und in einzelnen Zellen derselben, vorzüglich der Rinde Stoffe in Krystallform ausgeschieden sind — Kalk an Schwefelsäure, Kohlensäure und an organische Säuren gebunden. Im Holze macht natürlich Cellulose und Holzstoff den größten Theil der organischen Masse aus.

Der Zellsaft des Parenchyms reagirt bei allen Pflanzen sauer, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man an einen Längs- oder Querschnitt ein Lackmuspapier andrückt. Bei manchen Pflanzen schwindet die Röthung des blauen Reagenzpapiers wieder, bei vielen anderen (Cruciferen, Cucurbitaceen) bleibt sie; im ersten Falle verursachte also Kohlensäure, in dem andern Falle eine nichtflüchtige, jedenfalls organische Säure die Reaction. Die Reaction auf Kohlensäure findet man ganz allgemein, man wird sie in dem Parenchym einer jeden Pflanze finden, wenigstens konnte ich den entgegengesetzten Fall noch bei keiner Pflanze nachweisen. Schwachrothes Lackmuspapier gegen die Gefäßbündel angedrückt, zeigte häufig eine bleibende alkalische Reaction, wahrscheinlich von kohlensauren Alkalien herrührend, die sich in der Zellflüssigkeit des Cambiums befinden. Auffallend war es mir, das Ammoniak nur in einigen wenigen Fällen im Cambium der Gefäßbündel zu finden; die empfindlichsten Ammoniakreagenzpapiere blieben sonst ohne Reaction.

Ueber die Mengen der anorganischen Stoffe in den einzelnen Gewebspartien besitzen wir einige Untersuchungen, welche sich jedoch auf Trockensubstanz beziehen.

Schon durch de Saussure und andere ältere Chemiker ist bekannt, daß die Rinde verholzter Pflanzenaren reich ist an anorganischen Stoffen, besonders an Kalksalzen, daß dagegen das Holz selbst sehr arm an solchen Stoffen ist. Für die Oberhautzellen ist die Kieselsäure von besonderer Bedeutung, sie setzt sich in der Membran ihrer Zellen ab, verbreitet sich indeß auch bei einigen Pflanzen, wie bei Equisetum hiemale, auf die der Oberhaut zunächst liegenden Zellenschichten; dieser Umstand und die geringe Durchgangsfähigkeit der Kieselsäure beweisen zur Genüge, daß sie nicht durch das Cambium und Parenchym zur Oberhaut gelangt, wir würden sie dann auch in größerer Menge in diesen Parthien antreffen müssen. Sie diffundirt direct aus dem Epiblema nach der Oberhaut.

Ein unter der Oberhaut befindliches Bildungsgewebe erzeugt den Kork; ihm werden die zellenerzeugenden Stoffe, gleichwie die Kieselsäure, direct aus dem Epiblema zugeführt. Wo sich dieses Bildungsgewebe findet, ist es, wie das Cambium, auch reich an Proteinsubstanzen.

Von Garreau besitzen wir eine Untersuchung über die verschiedenen Lagen der Rinde dikotyledoner Bäume; um jedoch die Resultate dieser Untersuchung gehörig würdigen zu können, muß ich zuerst mit einigen Worten der Entwicklung der Rinde dieser Pflanze gedenken. Bei Populus, Quercus u. s. w. bildet sich im ersten Jahre in dem der Oberhaut zugewendeten Theile des Gefäßbündels ein Bastbündel, auf welches eine Schicht Bastzellen folgt. Im nächsten Jahre bildet das Cambium zuerst wieder Parenchym und darauf eine Schicht Bastzellen, so daß nach mehreren Jahren die Rinde aus wechselnden Lagen von Parenchym und Bast besteht. Garreau nun brachte diesen Rindentheil in zwei Portionen zur Untersuchung: die jüngsten, innersten, dem Cambium zunächstliegenden Lagen (premières couches libériennes, formées des couches libériennes les plus jeunes) und die mehr nach außen geschobenen älteren Lagen (deuxièmes couches libériennes, formées des couches libériennes plus âgées). In der primären Rinde bildet sich Kork, welcher später die Stelle der abgestoßenen Epidermis vertritt. In der Rindenschicht (couches corticales) Garreau's kamen die Korkschichten d. h. das Bildungsgewebe des Korkes und die älteren Korkschichten zur Untersuchung. Borkenbildung hatte in den untersuchten Rinden noch nicht stattgefunden; denn sie waren noch von einer glatten Epidermis bedeckt (encore recouvertes de leurs épidermes non fissurés), was nur bei ganz jungen Zweigen der Fall ist. Der innerste Theil der Rinde (der Bastschicht) ist noch mit dem Cambium in lebhaftem Verkehr, seine Zellen sind noch saftreich; die Zellen der äußeren Bastschichten hingegen sind weniger saftreich, die Zellenmembran mehr verdickt, die Parenchymzellen zwischen dem

Baste zusammengedrückt; es muß deshalb die Trockensubstanz jener reicher an anorganischen Stoffen sein als die Trockensubstanz dieser. Eben so begreiflich ist es, daß man die couches corticales, hier aus jungen Korkzellen und dessen saftreichem Bildungslager bestehend, dem von unten direct anorganische Stoffe zugeführt werden, verhältnißmäßig reich an Aschenbestandtheilen findet. Eine Tabelle Garreau's liefert hierzu Zahlenbeweise.[1])

100 Theile Trockensubstanz lieferten Asche

Pflanzen	Jüngste Bastschichten premières couches libériennes	ältere Bastschichten deuxièmes couches libériennes	Rindenschicht couches corticales
Iuglans regia.	12,55	8,55	11,85
Populus tremula	7,50	6,10	6,80
Quercus Robur	8,70	7,20	8,00

In anderen Untersuchungen verglich Garreau das Cambium (couche génératrice) von Hollunder mit dem Marke (moelle) desselben und Splint (das jüngste Holz) und Holz von verschiedenen dikotyledonen Bäumen. Die Gewebspartbien des Hollunders waren von den drei letzten Stengelgliedern eines jährigen Schosses genommen und kamen für jedes Stengelglied gesondert zur Untersuchung.

100 Theile Trockensubstanz von Mark und Cambium enthalten Asche[2])

Gewebstheile		3. Stengelglied	4. Stengelglied	Letztes (5.) Stengelglied
Ein jähriger Schößling von fünf Stengelgliedern (merithalles)	Mark	4,30	8,50	13,00
	Cambium	13,00	13,30	13,20

100 Theile Trockensubstanz von Splint und Holz enthalten Asche[3])

Pflanze	Splint	Holz	Zweige	Anmerkungen
Sambucus niger	1,40	0,59	1,52	Das Holz der Zweige war so viel wie möglich von dem Alter des Splintes genommen.
Quercus pedunculata	0,69	0,29	0,70	
Ulmus campestris	0,96	0,66	1,00	
Carpinus betulus	0,83	0,70	0,87	

[1]) A. a. O. Seite 13. — [2]) Ebendaselbst. — [3]) Ebendaselbst S. 12.

Die Trockensubstanz des saftreichen Cambiums ist, wie auch nicht anders zu erwarten stand, aschenreicher als die Trockensubstanz des Markes; die kleine Zunahme des Aschenprocentgehaltes im Cambium kann verschiedene Ursachen haben, vielleicht in der größeren Consumtion anorganischer Stoffe, welche in den letzten meist unentwickelten Stengelgliedern und in der Terminalknospe, hervorgerufen durch die lebhafte Zellenbildung daselbst, herrscht, u. s. w.

Zwischen dem Cambium und dem jungen eben erst gebildeten Marke des letzten Stengelgliedes ist nur ein kleiner, leicht zu erklärender Unterschied zu bemerken; und wenn das Mark aschenärmer gefunden wird, je älter es ist, so muß das entweder in einer Vermehrung der organischen Masse (Ablagerung von Stärkemehl u. s. w.) und Zurücktreten des Wassers, oder in einer Wegführung der anorganischen Stoffe nach anderen Gewebstheilen, durch die Markstrahlen zur Rinde, wo eine lebhafte Consumtion derselben stattfindet, bedingt sein. Auch Garreau erklärt sich die Sache auf die letzte Weise, „au transport de ces matières pour la formation des tissus périphériques les plus vivants."

Daß das jüngste Holz, der Splint, reicher an Mineralbestandtheilen ist als das ältere, eigentliche Holz, erklärt sich aus der stärkeren Incrustation der Zellen des letzteren, also aus der im Holze stattfindenden Zunahme der organischen Masse.

Achse und Blatt.

Bei saftreichen, krautigen Pflanzen fand ich den Stengel reicher an Wasser als das Blatt, wie folgende Zahlen zeigen; bei 100° getrocknet.

100 Theile Blatt oder Stengel lieferten Wasser und Trockensubstanz

Pflanzen	Stengel		Blatt	
	Wasser	Trockensubst.	Wasser	Trockensubst.
Cucurbita Pepo	92,17	7,83	90,23	9,77
Solanum nigrum	91,00	9,00	87,33	12,67

Anders mag es jedoch bei Pflanzen mit verholzendem Stengel sein; bei diesen sind wahrscheinlich die Blätter der wasserreichste Theil. Die Trockensubstanz der Blätter ist bei den meisten Pflanzen reicher an anorganischen Stoffen als die Trockensubstanz der Stengel. Bei dem Vergleichen des Blattes mit dem Stengel muß man möglichst darauf Rücksicht nehmen, nur Blatt und Achse von demselben Stengelgliede zu untersuchen; denn wie wir später sehen werden, sind diese Theile hin-

sichtlich ihrer Aschenbestandtheile je nach der Höhe, welche sie einnehmen, sehr verschieden.

Für Veronica arvensis giebt Garreau folgende Zahlen:

100 Theile Trockensubstanz enthalten Asche[1])

Veronica arvensis	Erste Stengelglieder	Mittlere Stengelglieder	Obere Stengelglieder
Stengelglieder.	12,00	10,04	8,00
Blätter derselben Stengelglieder	25,00	22,00	18,00

Für Cerealien bestätigten dies Arendt[2]) und Scheeven und für Phalaris arundinacea Knop[3]). Ich kann die von den genannten Forschern gefundenen Zahlen hier nicht alle anführen und muß auf die Originalabhandlungen hinweisen.

Hinsichtlich der einzelnen Aschenbestandtheile läßt sich Folgendes wol als allgemeines Gesetz hinstellen: die Trockensubstanz der Blätter ist viel reicher an Kieselsäure und Kalk als die Trockensubstanz des Stengels; dasselbe gilt auch für Schwefelsäure und Eisenoxyd, wenn auch in einem geringeren Grade; Chlor herrscht in der Trockensubstanz des Stengels vor; das Verhalten des Kali's, der Magnesia und der Phosphorsäure ist ziemlich schwankend, sie scheinen in der Trockensubstanz der Blätter von jungen Pflanzen vorzuherrschen, während sie bei älteren Pflanzen in dieser gegen die Trockensubstanz des Stengels zurücktreten. So wurden die Verhältnisse der einzelnen Aschenbestandtheile von Arendt für die Haferpflanze gefunden, und manche Thatsachen berechtigen uns zu der Vermuthung, daß das für Hafer gefundene Gesetz auch für die meisten anderen Pflanzen gültig sei. Am auffallendsten ist das Verhalten der Kieselsäure und des Kalkes in den Blättern und im Stengel. Arendt fand bei Hafer in der Trockensubstanz der Blätter oft eine 18 Mal so große Kieselsäure- und 11 Mal so große Kalkmenge als in der Trockensubstanz der Stengel; Knop fand bei Phalaris arundinacea in 100 Trockensubstanz in den Halmen 1,60 Kieselsäure und 0,33 Kalk, in den Blättern 6,32 Kieselsäure und 1,44 Kalk. Das bedeutende Uebergewicht des Kalkes und der Kieselsäure in den Blättern weist darauf hin, worin wir die Ursache des größeren Aschengehaltes in den Blättern zu suchen haben: es ist die Ablagerung der genannten Stoffe in unlöslicher Form.

---

1) A. a. Orte Seite 10.

2) Das Wachsthum der Haferpflanze.

3) Landwirthschaftliche Versuchsstationen. Heft 4, Seite 50.

Die Untersuchungen Arendt's[1]) lassen dasselbe schließen; denn er fand die Kieselsäure im Blatte fast in ihrer ganzen Menge in unlöslicher Form und den Kalk zu 1/3—1/2 unlöslich ausgeschieden.

Garreau[2]) fand das junge Blatt und die junge Achse, beide aus der Knospe genommen, so ziemlich in den Mengen der einzelnen anorganischen Bestandtheile übereinstimmen bei Malus communis, Acer campestre und Corylus Avellana.

Bei Hafer und Gerste ist die Trockensubstanz der Blätter reicher an stickstoffhaltigen Stoffen als die Trockensubstanz des Stengels, wie aus den Untersuchungen Arendt's und Scheeven's hervorgeht; Knop[3]) giebt für Arundo Phragmites folgende Zahlen: 100 Theile Trockensubstanz enthalten

im Stengel 1,41 Stickstoff,
im Blatt 2,54 Stickstoff,

Bei krautigen, nicht verholzenden Pflanzen im jugendlichen Zustande dürfte aber wol in dem Stengel die stickstoffhaltige Substanz vorherrschen. Bei Hafer sehen wir die lösliche stickstoffhaltige Substanz gegen die unlösliche, ausgeschiedene überwiegen in den Blättern, dagegen in den Stengeln lösliche gegen die unlösliche zurücktreten.

Wie sich die Concentration des Zellsaftes an löslichen Stoffen in dem Blatte und im Stengel verhält, wissen wir nicht; das vorhandene Material giebt auch nicht den geringsten Aufschluß darüber.

Die einzelnen Theile des Blattes untersuchte Garreau, er wählte 1. den Stiel, 2. die größern und mittlern Nerven und 3. das zwischen den Nerven gelegene Parenchym. Seine Arbeit lieferte die nachstehende Tabelle.

100 Theile Trockensubstanz enthalten Asche[4])

Pflanzen	Stiel	Größere und mittlere Nerven	Intermediäres Parenchym	Anmerkungen
Oenanthe Phellandrium	18,90	16,00	11,00	Stiel u. Nerven
Nymphaea Lotus	18,11	13,11	10,00	untergetaucht.
Cissus quinquefolia	16,00	21,50	13,46	Cylindrischer u.
Sambucus nigra	20,85	19,56	9,65	fleischiger Stiel.
Nicotiana Tabacum	"	18,00	18,00	
Gentiana lutea	"	9,23	6,15	
Aesculus macrostachya	"	11,11	10,66	

[1]) A. a. O. S. 180. — [2]) A. a. O. S. 25. — [3]) A. letztang. O. S. 50. — [4]) A. a. O. S. 20.

Alexander Müller ließ durch Mittenzwei die organische Substanz und Asche der Runkelrübenblätter bestimmen, indem er die Stiele der Blätter für sich und die Blattfläche für sich der Untersuchung unterwarf.

Grüne, ungetrocknete Blätter enthielten im Mittel von 4 Analysen in Procenten Wasser, Trockensubstanz und Asche, und die Trockensubstanz Asche [1])

	Wasser	Trockensubst.	Asche	Trockensubstanz enthält Asche
Blattstiele	93,06	6,94	1,19	17,13 %
Blattfläche	88,68	11,32	2,15	18,22 %

Man kann wol annehmen, daß die Blattstiele sich zu den Blattflächen oder dem Blattparenchym mit den kleinsten Nerven verhalten wie der Stengel zum Blatt, daß also bei krautigen nicht verholzenden Pflanzen die Stieltrockensubstanz weniger reich an anorganischen Stoffen ist, als die Trockensubstanz der Blattfläche, wie dies auch die Zahlen der letzten Tabelle beweisen; Garreau fand indeß mit Ausnahme der Cissus quinquefolia ganz entgegengesetzte Resultate. Neue Untersuchungen müssen uns über diese Sache mehr aufklären.

Betrachten wir nun die Axe und die Blätter von unten nach oben aufsteigend d. h. die Pflanzentheile in verschiedenem Alter, so werden wir finden, daß die Trockensubstanz je nach der Höhe im Stengel an Asche sehr variabel ist. In der vorhin mitgetheilten Tabelle Garreau's für Veronica arvensis sahen wir, daß der Aschengehalt der Trockensubstanz für die unteren, älteren Stengelglieder größer ist als für die oberen, jüngeren; das Gleiche zeigt auch eine Tabelle Garreau's für verschiedene Wasserpflanzen.

100 Theile Trockensubstanz enthalten Asche [2])

Stengelglieder	Hottonia palustris	Potamogeton lucens	Ranunculus aquatilis	Hippuris vulgaris
die zwei ersten	13,60	18,61	18,61	15,00
die zwei letzten	9,00	17,10	14,30	12,00

[1]) Landwirthsch. Versuchsstationen, Heft 3, Seite 246.
[2]) A. a. O. Seite 10.

Es gilt dieses Gesetz, wie es scheint, nur für solche Pflanzen, deren Stengel wenig oder gar nicht verholzen, wo sich also keine Holzzelleu bilden und die Gefäße sich nicht bedeutend incrustiren; weshalb denn auch Wasserpflanzen dieses Verhältniß am entschiedensten zeigen; hierzu kommt noch, daß den Wasserpflanzen gewöhnlich mehr Stoffe dargeboten werden, welche sich zur Abscheidung in unlöslicher Form neigen (Kalk, Eisenoxyd), und daß diese sich um so mehr abgelagert haben, als der Stengeltheil älter ist, während der Wassergehalt in demselben ziemlich derselbe in den verschiedenen Altersperioden ist. Anders hingegen muß es bei Pflanzen sein, deren Stengel verholzt: hier vermehrt sich in den älteren Stengelgliedern die organische Substanz durch Incrustion der Gefäße und Holzzellen; das Cambium tritt zurück in ihnen, während es in jüngeren Pflanzentheilen noch in lebhafter Thätigkeit ist; der ältere Stengeltheil wird deshalb procentisch ärmer an Wasser sein als der jüngere; auch findet bei ihnen, weil sie meistens Landpflanzen sind, die Ablagerung unlöslicher anorganischer Stoffe nicht in so reichlichem Maaße statt wie bei Wasserpflanzen. Garreau[1]) fand bei bei Bäumen, daß das Stengelglied um so ärmer an Asche wird, als es an Alter zunimmt. Für Cerealien wurde der reichere Procentgehalt der Trockensubstanz höherer, jüngerer Stengelglieder an Asche von Arendt[2]) bestätigt. Ich will in der nachstehenden Tabelle die Resultate seiner umfangreichen Arbeiten zusammenstellen. Der Hafer lieferte das Material und wurde in verschiedenen Vegetationsperioden genommen: I. nur die 3 untern Stengelglieder hatten eine merkliche Länge erreicht; II. kurz vor Ende des Schossens; III. unmittelbar nach der Blüthe; IV. bei beginnender Reife; V. völlige Reife.

1000 Theile Trockensubstanz enthalten Asche exclusive Kohlensäure

Organe	I.	II.	III.	IV.	V.
3 untere Stengelglieder	44,11	25,63	35,05	44,40	64,81
2 mittl. Stengelglieder	—	29,84	47,81	50,09	53,26
oberes Stengelglied	—	35,23	52,50	55,83	64,35
Aehrchen	—	38,87	36,70	28,42	26,79
3 untere Blätter	97,11	94,89	102,11	101,45	101,33
2 obere Blätter	77,82	70,42	69,71	97,24	105,12

Während die vorstehende Tabelle für alle Perioden zeigt, daß die Trockensubstanz um so reicher an mineralischen Stoffen ist, als das

[1]) A. a. O. Seite 11.

[2]) Das Wachsthum der Haferpflanze.

Stengelglied entfernter von der Basis genommen wurde, belehrt sie uns gleichzeitig auch, daß der Mineralreichthum mit dem Alter wächst, oder vielmehr, daß die junge Pflanze der ersten Periode reich an mineralischen Stoffen ist, dann in der 2. Periode der Procentgehalt derselben fällt, um dann allmälig wieder bis zur Reife zu steigen. Die Abnahme in der 2. Periode ist nur relativ und erklärt sich aus der bedeutenden Zunahme der organischen Masse, besonders der Holzfaser in dieser Periode. Ich habe vorhin gesagt, daß die Abnahme der Trockensubstanz an anorganischen Stoffen im Stengel von oben nach unten bedingt sei durch die Zunahme der organischen Masse. Wie sich dies bei Hafer verhält, zeigt die Zusammenstellung der Zahlen Arndt's in der folgenden Tabelle; es sind in derselben Holzfaser und stickstofffreie Substanzen (mit Ausnahme des Fettes und Wachses) zusammengerechnet. I.—V. sind die vorhin beschriebenen Perioden.

1000 Theile Trockensubstanz enthalten Holzfaser und stickstofffreier Stoff

Stengelglieder	I.	II.	III.	IV.	V.
3 untere	805,88	922,02	905,51	900,52	900,46
2 mittlere		851,48	868,75	849,24	848,05
oberes		891,05	829,79	810,37	808,41

In der 2. Periode, während des Schossens der Pflanze, tritt eine Vermehrung der organischen Masse allgemein ein; von dieser Zeit an nehmen die genannten Stoffe (Holzfaser und stickstofffreie Substanz) in der Trockensubstanz von unten nach oben ab, die unteren Stengelglieder sind reicher daran als die oberen. An stickstoffhaltigen Stoffen und Fett nimmt die Trockensubstanz von unten nach oben zu; in den unteren Stengelgliedern ist indeß mehr unlösliche stickstoffhaltige Substanz als lösliche, in dem obern Stengelgliede ist das Umgekehrte der Fall. Man kann wol mit Bestimmtheit annehmen, daß die unteren Stengelglieder weniger wasserreich sind als die oberen. Aus allem Dem läßt sich wol die Ursache der Abnahme des Aschengehaltes von oben nach unten zur Genüge erklären.

Wenn man den Aschengehalt der Trockensubstanz aller Stengelglieder des Hafers zusammenrechnet, so ergiebt sich daraus für den ganzen Stengel (ohne Aehrchen und Blatt) eine mit der 3. Periode beginnende Zunahme des Aschengehaltes, wie die folgende Zusammenstellung zeigt, welcher zum Vergleich der Aschengehalt der ganzen Pflanze (Stengel mit Blatt und Aehre) untergesetzt ist.

100 Theile Trockensubstanz enthalten Asche

Periode	I.	II.	III.	IV.	V.
im Stengel	4,41	3,03	4,65	5,08	5,57
in der ganzen Pflanze	8,03	5,24	5,45	5,20	5,17

Garreau fand für den Stengel verschiedener Pflanzen zuerst eine Abnahme, dann eine Zunahme bis zur Blüthe und wieder eine Abnahme bis zur Reife.

100 Theile Trockensubstanz enthalten Asche

Alter der Axe	Weizen blé blanzé	Mais	Weißer Mohn	Bohnen haricot flageolet
Embryonale Axe	7,00	7,80	"	5,00
Sehr junges Stengelchen	3,60	5,30	7,75	4,00
Stengel von 30 Tagen	7,80	9,50	9,00	9,00
Stengel 15 Tage vor der Blüthe	8,50	12,70	14,80	12,60
Stengel während der Blüthe	6,20	9,40	13,40	10,75
Stengel bei der Reife	5,00	9,30	11,27	8,00

Die letzte Tabelle deutet darauf hin, daß während des Blühens und Reifens anorganische Stoffe aus dem Stengel in die Blüthenorgane hinüberwandern. Die Resultate stimmen nicht mit den von Arendt für Hafer gefundenen.[1]) Mit Arendt stimmt Scheeven in Bezug auf Gerste überein.[2])

Das Aehrchen, als Endglied der Axe betrachtet, zeigt sich nach dem Obigen bei Hafer nur in der 2. Periode reicher an Asche als die Trockensubstanz des Stengels, in den späteren Perioden ist es bedeutend ärmer daran; auch mit dem Alter nimmt der Gehalt der Trockensubstanz an Asche ab, weil sich in ihm organische Masse anhäuft.

Die Trockensubstanz der ausgebildeten und reifen Samen ist bei den meisten Pflanzen ärmer an Aschenbestandtheilen als die Trockensubstanz des Stengels. Die Trockensubstanz der Blätter ist bei Hafer, wie obige Tabelle zeigt, um so ärmer an Asche, als die Blätter höher am Stengel stehen, als sie jünger sind. Es gilt dies für alle bis jetzt untersuchten

---

[1]) Die von Arendt gefundenen Zahlen für die ganze Haferpflanze stimmen wol mit den Zahlen Garreau's überein; sollte Garreau vielleicht auch die ganze Pflanze untersucht haben d. h. Stengel mit Blatt? — es ist dies am a. a. O. nicht ausgesprochen; nach dem, was dort gesagt wird, kann man nur auf den von Blättern befreiten Stengel schließen. Seite 9.

[2]) Arendt, das Wachsthum der Haferpflanze, Seite 101.

Pflanzen mit wenigen Ausnahmen. Garreau hat eine große Zahl von Pflanzen untersucht (Landpflanzen, Wasserpflanzen, solche mit fleischigen und dicken Blättern, Bäume) und fand das eben ausgesprochene Gesetz überall wieder. Ich will von seinen vielen Zahlen nur einige und die Ausnahmen anführen.

Die Zahlen beziehen sich auf 100 Trockensubstanz.

Veronica arvensis	die Blätter der 5 ersten Stengelglieder	25
	die Blätter der 5 mittl. Stengelglieder	22
	die Blätter der 5 letzten Stengelglieder	18
Hottonia palustris	Blätter aus der mittl. Region der Axe	30
	Blätter aus der höchsten Region der Axe	12
Sempervivum tectorum	Blätter von der Basis der Axe	30,00
	Blätter von der Spitze der Axe	12,80

Die Blätter des einjährigen Schößlings einer Linde von der Basis des Schößlings am Aste ausgehend: 1. Blattordnung 9,30; 2. 9,30; 3. 8,95; 4. 8,70; 5. 8,71; 6. 8,00; 7. 7,85; 8. 7,60.

Ausnahmen.

	Blätter von der Basis der Axe,	von der Spitze der Axe
Saxifraga crassifolia	4,73	4,73
Laurus nobilis	2,24	2,90
Nerium Oleander	8,74	19,00

Die Trockensubstanz der Haferblätter ist bis zur Blüthe nach Arendt reicher an Holzfaser in den oberen Blättern als in unteren; es deutet dies wol darauf hin, daß die oberen Blätter ärmer an Wasser sind als die unteren; dies hat aber, die anatomische Structur der Blattzellen in Betracht ziehend, eine andere Bewandniß als bei dem Stengel, wie wir gleich sehen werden. Uebrigens gestatten die bisher mitgetheilten Arbeiten uns keinen genügenden Einblick in die Ursache der vorhin mitgetheilten Erscheinungen; es wird uns deshalb wol erlaubt sein, die von Müller und Mittenzwei gefundenen Thatsachen für Runkelrübenblätter, die auch hinsichtlich des Aschengehaltes von der allgemeinen Norm nicht abweichen, vorläufig auf die Blätter aller Pflanzen zu übertragen. Sie untersuchten die Blätter der verschiedenen Blattcyclen von der Basis (1. Cyclus) bis zu den jüngsten noch nicht entwickelten Herzblättern (7. Cyclus). Ich will nur die uns interessirenden Daten hier mittheilen. [1])

---

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen, Heft 3, Seite 242.

Cycl.	Die frischen Blätter enthalten Procente: Wasser	Trockensubstanz	Asche	Saftmenge	Im Saft gelöste Stoffe	Concentration des Saftes	Trockensubstanz enthält Proc. Asche
1.	91,36	8,64	2,69	95,11	3,75	3,9 %	31,16
2.	91,03	8,97	2,16	—	—	—	23,03
3.	90,57	9,43	2,03	95,65	5,08	5,3 %	21,56
4.	88,78	11,22	2,00	—	—	—	17,82
5.	87,84	12,16	1,97	94,81	6,97	7,4 %	16,20
6.	87,64	12,36	1,73	—	—	—	14,01
7.	87,99	12,01	1,72	95,71	7,71	8,1 %	14,30

Wie man sieht, nimmt der procentische Gehalt an Trockensubstanz um so mehr zu, als die Blätter höher stehen, d. h. als sie jünger sind, wobei der Aschengehalt gleichzeitig in dieser Richtung, von unten nach oben, fällt. Daß diese Verhältnisse durch die im Saft gelösten Stoffe großentheils bedingt sind, belehrt uns der erste Blick auf die Tabelle. Hauptsächlich sind es die schlechtdiffundirenden Stoffe, welche die große Verschiedenheit in den Procentzahlen der im Saft gelösten Stoffe hervorrufen und wahrscheinlich die Proteinstoffe und die schleimigen Kohlenhydrate, die bei der Zellenbildung dienen; die leichtdiffundirenden Stoffe, wie Zucker, gelöste Oxalsäure, Salze, müßten sich ja gleichmäßiger über die Pflanze verbreiten, wie ich das nachher für Oxalsäure nachweisen werde. Im ganz jungen Blatte mögen vielleicht durch die Thätigkeit des Gefäßbündelcambiums des Blattes noch zellenbildende Stoffe erzeugt werden, und weil diese grade zu den schlechtdiffundirenden gehören, findet sich in den Zellen des jungen Blattes der concentrirteste Saft und giebt dasselbe die meiste Trockensubstanz. Vielleicht treten diese Vorgänge bei der Runkelrübe in den beiden letzten Blattcyclen auf, deren älterer etwas reicher an Trockensubstanz ist als der jüngere. Sehr bald hört indeß die Bildung zellenerzeugender Stoffe im Blatt auf; die vorhandenen bilden sich in Zellen um, vergrößern das Blatt und vertheilen, indem Wasser in die Zellen eintritt, sich und die anderen gelösten und ungelösten Stoffe auf eine größere Anzahl von Zellen und auf eine größere Wassermenge; also die Verdünnung des Zelleninhaltes durch Zufuhr neuer Wassermengen verursacht eine procentische Abnahme der Trockensubstanz je älter das Blatt wird.

Die Bildung der Zellen und der Proteinsubstanzen im Blatte können wir bei der Haferpflanze nach den Untersuchungen Arendt's verfolgen.

Arendt bestimmte die absolute Zunahme der einzelnen Stoffe bei tausend Pflanzen; ich will die Zahlen jedoch auf Eine Pflanze zurückführen. Was Arendt Holzfaser nennt, ist reine Cellulose.[1]) So lange in den Blättern die Cellulose zunimmt, findet daselbst noch eine Zellenvermehrung statt — eine Ablagerung neuer Zellstoffmassen auf die innere Wand der fertigen Zelle findet sich in dem Blatte nur in unbedeutendem Grade.

Die 3 untern Blätter Einer Pflanze enthalten Cellulose und stickstofthaltige Substanz in Milligrammen: (die Perioden sind die früher beschriebenen).

Periode	I.	II.	III.	IV.	V.
Holzfaser (Cellulose)	44	71	66	69	63
N-haltige Substanz	43	33	30	22	18

In der zweiten Periode, während des Schossens, bildete sich aus den im Blatte vorhandenen Kohlenhydraten Cellulose und zwar 27 Milligramme, die zum größten Theile zur Bildung von Zellen verwendet wurde; das Blatt erreicht in dieser Periode seine Ausbildung; neue Cellulose wird nicht mehr gebildet, und die Menge des Zellstoffs in den Blättern bleibt in den späteren Perioden ziemlich unverändert. Während aber in der 2. Periode Cellulose und Zellen vermehrt werden, nimmt die stickstoffhaltige Substanz ab, wahrscheinlich weil sie zersetzt wird; die Stoffe, woraus die Zelle hervorgeht, sind in der 1. Periode gebildet worden, das Kohlenhydrat geht in der 2. Periode in Cellulose über und Proteinsubstanzen werden keine mehr gebildet. Die stetige Abnahme der stickstoffhaltigen Substanz deutet mit Entschiedenheit auf eine Zersetzung und Umwandlung derselben hin.

Auch noch eine andere Ursache könnte bei der Zunahme des procentischen Wassergehaltes in den älteren Blättern mitwirken: die verdunstenden Zellen, besonders an der Athemhöhle, verlieren mit dem Aelterwerden an Permeabilität, indem sich eine zarte Schicht Cuticula auf ihre verdunstende Oberfläche ablagert (Schacht); während nun junge Blätter noch ungestört verdunsten können, ist die Verdunstung bei älteren Blättern mehr oder weniger geschwächt, und der Zelleninhalt,

---

[1]) Arendt erhielt die Holzfaser durch Kochen der Trockensubstanz mit Kalilauge, wobei nur die Cellulose ungelöst bleibt; Cuticula, Intercellularsubstanz u. s. w. werden gelöst. Arendt und Andere beobachteten eine absolute Abnahme der Holzfaser in späteren Perioden; beiläufig bemerkt, kann wirklich ein Verschwinden der Holzfaser oder Cellulose eintreten, indem bei einem Aelterwerden der Zellen und Pflanzentheile sich Cellulose in Intercellularstoff und Cuticula verwandelt und dadurch löslich in Kalilauge wird.

wenigstens in Bezug auf die sich nicht leicht ausgleichenden Stoffe, bei jenen beständig concentrirter als bei diesen.

Die Zunahme der procentischen Aschenmenge von oben nach unten in den frischen Blättern ist bedingt durch die Ablagerung und Ausscheidung unlöslicher anorganischer Stoffe in den älteren Blättern. In der Trockensubstanz muß dieses Verhältniß noch entschiedener auftreten und um so mehr, als hier der größere Wasserreichthum der älteren Blätter bei der Erhöhung des Aschenprocentgehaltes der Trockensubstanz mitwirkt.

Ich habe vorhin gesagt, daß die im Zellsaft gelösten leicht diffundirenden Stoffe sich gleichmäßiger über die Pflanzen verbreiten müssen und sich nicht an irgend einem Orte anzuhäufen vermögen — wohlverstanden, so lange sie in gelöster Form vorhanden sind. Ich wies auf Oxalsäure hin und will nun hier die Zahlen aus den vorhin erwähnten Arbeiten Müller's und Mittenzwei's über Runkelrüben hier zusammenstellen. Der Wassergehalt der Blättcyclen ist der in der vorigen Tabelle angegebene; die Blätter sind dieselben, in welchen die Trockensubstanz, Asche u. s. w. der vorigen Tabelle bestimmt wurde.

Oxalsäuregehalt der Runkelrübenblätter. (Oxalsäure = C_2O_3.)

Die frischen Blätter enthalten Procente C_2O_3				Concentration des Saftes in Bezug auf C_2O_3 in Procenten	Die Trockensubstanz enthält Procente gelöste u. ungelöste C_2O_3
Cycl.	gelöste	ungelöste	Summa		
1	0,29	0,66	0,95	0,32	10,98
2	0,30	0,56	0,86	0,33	9,62
3	0,19	0,32	0,58	0,21	6,11
4	0,18	0,49	0,60	0,20	5,35
5	0,19	0,38	0,57	0,22	4,65
6	0,19	0,40	0,59	0,22	4,75
7	0,08	0,15	0,23	0,09	1,85

In den Blättern des 3. 4. 5. und 6. Cyclus ist der procentische Gehalt des Saftes an löslicher Oxalsäure oder löslichen oxalsauren Salzen als ganz gleich anzusehen; in den jungen, noch nicht entwickelten Blättern des 7. Cyclus konnte sich die Concentration kaum noch ausgleichen, auch noch wenig Oxalsäure bilden, weshalb die Concentration hier eine geringe ist; wenn aber die Concentration in den beiden untersten Cyclen so bedeutend größer ist als in den andern Blattcyclen, so weiß ich dafür keine andere genügende Ursache zu finden, als die, daß die

Oxalsäure hier mit einer Base zu einem schwerlöslichen Salze verbunden und ausgeschieden sei und bei dem Extrahiren der Blätter mit Wasser, auf welche Weise die lösliche Oxalsäure bei der Untersuchung gewonnen wurde, sich wieder gelöst habe. Ich erinnere an die Schwerlöslichkeit des zweifach oxalsauren Kali's, welches häufig in Pflanzen vorkommt (Oxalis, Rumex).

Ueber die Vertheilung anderer gelöster und ungelöster organischer Stoffe läßt sich aus dem bis jetzt vorliegenden Material wenig bestimmen; über das Vorkommen des Holzstoffes, der Cuticula, der Cellulose und des Intercellularstoffs jedoch hat uns das Mikroskop hinreichende Aufschlüsse gegeben; wie sich aber Zucker und andere lösliche Kohlenhydrate verhalten, ist bis jetzt nicht festzustellen, indeß darf man wol mit der größten Gewißheit annehmen, daß der Zucker sich ähnlich verhalten wird wie die Oxalsäure. Die stickstoffhaltigen Substanzen werden sich vorzüglich da in reichlichster Menge finden, wo sich neue Zellen bilden; je älter ein Pflanzentheil wird, nachdem die Zellenerzeugung in ihm aufgehört hat, um so weniger wird der Saft davon in gelöster Form enthalten. In jüngern Stengelgliedern, so lange die Zellenbildung in ihnen thätig ist, wird sich ein größerer Reichthum an Proteinsubstanzen finden als in älteren, ebenso in jüngern, oberen Blättern mehr als in älteren, unteren. Ich habe oben schon gezeigt, wie sich im Blatte des Hafers die Bildung und Rückbildung der stickstoffhaltigen Substanz verhält; interessant ist es, auch die für die übrigen Pflanzentheile gefundenen Zahlen mit einander zu vergleichen. In der nachfolgenden Tabelle repräsentiren die Zahlen die absolute Menge der Holzfaser (Cellulose) und der stickstoffhaltigen Substanz der einzelnen Pflanzentheile in Milligrammen. In den Stengelgliedern entspricht die Vermehrung der Holzfaser nicht der Zellenvermehrung allein, sondern sie fällt auch zum Theil auf die Verdickung der innern Wand der Gefäße, welche Verdickungsschichten jedoch bald wieder in, in Kali löslichen Holzstoff übergehen.

Es enthalten Milligramme		I.	II.	III.	IV.	V.
die 3 unteren Stengelglieder	Holzfaser	19	53	60	62	60
	N haltige Substanz	11	6	8	8	7
die 2 mittl. Stengelglieder	Holzfaser	—	58	83	81	83
	N haltige Substanz	—	17	15	19	18
das obere Stengelglied	Holzfaser	—	50	79	86	88
	N haltige Substanz	—	7	18	23	22
das Aehrchen	Holzfaser	—	109	143	144	149
	N haltige Substanz	—	52	82	202	246
die 3 unteren Blätter	Holzfaser	44	71	66	69	63
	N haltige Substanz	43	33	30	22	18
die 2 oberen Blätter	Holzfaser	40	119	114	108	109
	N haltige Substanz	42	43	50	45	40

Länge der einzelnen Stengelglieder in Centimeter

Stengelglied	1	2	3	4	5	6
1. Periode	1	2	3	nur angedeutet		
2. Periode	1	3	7	8	13	20
3., 4. und 5 Periode	1	3	8	10	20	30

Die 3 unteren Stengelglieder haben ihre Ausbildung in der 2. Periode fast vollständig erreicht; sie bilden in der 2. Periode noch Zellen, die Bildung der stickstoffhaltigen Substanz hat aber schon aufgehört; es findet nur eine Verwandlung der zellenerzeugenden Stoffe in Zellen statt.

Die 2 mittleren Stengelglieder erreichen ihre Ausbildung in der 3. Periode, die Bildung der stickstoffhaltigen Substanz hatte schon in der 2. Periode aufgehört.

Das obere Stengelglied erreicht seine Ausbildung auch in der 3. Periode; in ihm findet aber noch eine lebhafte Bildungsthätigkeit statt; es erzeugt noch stickstoffhaltige Substanzen bis in die 3. Periode hinein, vielleicht gar noch bis in die 4.

Im Aehrchen hört der Zellenbildungsproceß schon mit der 3. Periode, mit der Blüthe, auf; die Bildung stickstoffhaltiger Stoffe dauert hier aber bis zur Reife fort und zwar in einem hohen Grade.

Die Blätter erreichen ihre Ausbildung schon in der 2. Periode.

Was den procentischen Gehalt der Trockensubstanz des Hafers an stickstoffhaltigen Stoffen betrifft, so kann man nach den Zahlen Arendt's als allgemein annehmen, daß die Trockensubstanz um so reicher an den

genannten Stoffen wird, als man höher in der Pflanze hinaufsteigt; es gilt dies sowohl für den Stengel, als für das Blatt.

Ueber die Vertheilung der stickstoffhaltigen Substanzen auf die verschiedenen Theile der Runkelrübe besitzen wir eine Arbeit von J. Pierre[1]), die mir jedoch nur unvollständig bekannt ist.

Die Löslichkeitsverhältnisse der stickstoffhaltigen Substanz in der Haferpflanze untersuchte ebenfalls Arendt; seine Arbeiten beziehen sich indeß nur auf die reife Pflanze[2]). Die lösliche stickstoffhaltige Substanz wurde durch Ausziehen der Trockensubstanz mit Wasser gefunden.

Pflanzentheile	1000 Theile Trockensubst. enthielten			Verhältniß der löslichen zur unlöslichen N halt. Substanz
	lösliche	unlösliche	Summa	
untere Stengelglieder	19,75	30,26	50,01	1 : 1,53
mittlere Stengelglieder	32,16	39,69	71,85	1 : 1,23
oberes Stengelglied	62,43	36,51	98,94	1 : 0,58
untere Blätter	51,25	44,25	95,50	1 : 0,86
obere Blätter	57,10	50,77	107,87	1 : 0,89

Man sieht, daß im Stengel sich um so mehr stickstoffhaltige Substanz in unlöslicher Form ausscheidet, als man tiefer in ihm hinabsteigt, als er älter wird. In den Blättern ist das Verhältniß der löslichen zur unlöslichen nicht wesentlich verschieden; man darf hierbei indeß nicht vergessen, daß die Pflanze reif war, und deshalb die Blätter auf der gleichen Stufe der Entwicklung standen; anders würde es sich wol verhalten, wenn die Blätter in früheren Perioden untersucht worden wären.

Wir hätten schließlich nun noch die Vertheilung der einzelnen anorganischen Stoffe, ihre Aufnahme und Wanderung und die Wanderung der organischen Stoffe zu besprechen; aber auch hier ist es nur die Haferpflanze, welche uns einige Andeutungen giebt; nur Arendt hat in der oft besprochenen Arbeit einige Aufschlüsse darüber gewonnen. Ich muß mich wol genügen das Wichtigste aus Arendt's Arbeit hervorzuheben, da eine auch nur einigermaßen ausführliche Mittheilung der analytischen Daten uns hier zu weit führen würde.

Ich muß hier nochmals darauf hinweisen, daß die Aufnahme und Wanderung der Stoffe durch drei Factoren bedingt ist, durch die Concentration der Nahrungsflüssigkeit, durch die Ausscheidung der gelösten

[1]) Comptes rend. 42. Seite 715. Wenn ich nicht irre, auch in Dingler's polytechnischem Journal.

[2]) A. a. O. Seite 180—182.

Stoffe und durch Neubildung organischer Stoffe. So lange wie die Nahrungsflüssigkeit höher concentrirt als die Zellflüssigkeit ist, werden alle jene Stoffe, an welcher jene höher concentrirt als diese, in die Pflanze eintreten; wird an irgend einem Orte in der Pflanze ein Stoff ausgeschieden, so treten Strömungen desselben nach dem Orte der Ausscheidung ein, die schließlich wieder zur Nahrungsflüssigkeit gehen; bildet sich an irgend einem Orte in der Pflanze ein neuer Stoff, welcher leicht diffundirt, so wird derselbe sich über die Pflanze soweit verbreiten, als die Zellen in diffussionsfähigem Zusammenhange stehen.

Kieselsäure. Die Trockensubstanz nimmt in ihrer procentischen Zusammensetzung im Stengel an Kieselsäure von oben nach unten zu; bis zur Blüthe ist die Trockensubstanz des Aehrchens die kieselsäurereichste der Axe, nimmt bei dem Reifwerden indeß ab, alsdann fällt der procentische Gehalt unter den des oberen Stengelgliedes. Bis zur beginnenden Reife ist die Trockensubstanz der unteren Blätter procentisch reicher an Kieselsäure als die der oberen Blätter; während des Reifens ist es umgekehrt. Die Aufnahme der Kieselsäure erfolgt bis zur Reife und ihr Maximum fällt in die Zeit der Blüthe, wie die folgenden Zahlen zeigen, welche die Mengen der Kieselsäuren repräsentiren, die von 1000 ganzen Pflanzen in jeder der früher näher bezeichneten Perioden aufgenommen werden.

1000 ganze Pflanzen nehmen auf in

Periode	I.	II.	III.	IV.	V.	
	6,39	9,43	9,63	9,21	1,66	Gramm.

Die unteren Stengelglieder nehmen blos bis in die 3. Periode Kieselsäure auf; während des Reifens der Pflanze verlieren sie von der aufgenommenen Menge. Mittlere, obere Stengel und obere Blätter nehmen bis zur Reife auf, besonders sind es die letzteren, welche beim Reifen verhältnißmäßig große Mengen aufnehmen. Untere Blätter und Aehrchen vermehren ihren Kieselsäuregehalt bis in die erste Zeit des Reifens; dann aber gehen merkliche Mengen aus ihnen fort, die vielleicht in die oberen Blätter wandern.

Schwefelsäure. Die mittleren und oberen Stengelglieder sind fast gleichprocentig in ihrer Trockensubstanz an der genannten Säure, und die unteren Stengelglieder enthalten nur in den beiden ersten Perioden welche. Auch die Aehrchen enthalten nur in der 2. Periode und in der letzten Zeit des Reifens bemerkbare Mengen. Die Trockensubstanz der Blätter ist dagegen procentisch reicher daran als die der Axe; bis zur Blüthe ist die Trockensubstanz der untern Blätter reicher; während des Reifens jedoch die der oberen Blätter. Ueberhaupt ist der Schwefelsäuregehalt von geringer Bedeutung.

1000 ganze Pflanzen nehmen Schwefelsäure auf in

Periode	I.	II.	III.	IV.	V.	
	1,06	1,65	0	2,12	0,41	Gramm.

Die unteren Stengelglieder nehmen nur in der ersten Periode Schwefelsäure auf, welche aber in der 2. Periode verloren geht, so daß in ihnen später keine mehr gefunden wird. Die mittleren Stengelglieder nehmen bis zur Reife auf, sie enthalten aber nur verschwindend kleine Mengen. Das obere Stengelglied nimmt erst während der Blüthe Schwefelsäure auf, verliert sie jedoch in der letzten Zeit des Reifens. Die Blätter vermehren während des ganzen Lebens der Pflanze die Schwefelsäure, besonders stark die oberen Blätter in der ersten Zeit des Reifens. Das Aehrchen nimmt in der Zeit des Schossens Schwefelsäure auf, verliert die aufgenommene während der Blüthe, worauf dann wieder neue Mengen eintreten, die sich während des Reifens vermehren. „Daß die unteren Stengelglieder von der 3. Periode ab völlig frei sind von Schwefelsäure, während in den oberen Pflanzentheilen diese Substanz fortwährend zunimmt, läßt kaum eine andere Annahme zu, als daß der Schwefel mindestens in der letzten Hälfte des Wachsthums nicht in Form von Schwefelsäure in die grünen Theile des Gewächses übergeht; denn wenn auch der Durchgang noch so spärlich erfolgt wäre, so müßte doch zur Zeit der Ernten immerhin eine entsprechende geringe Menge im untern Theil des Halms wenigstens qualitativ nachzuweisen gewesen sein. Hiernach müßte in der Wurzel oder schon außerhalb derselben in deren nächster Umgebung eine Reduction der Schwefelsäure stattgefunden haben, und der Schwefel in organischer Verbindung (oder als lösliches Schwefelmetall?) durch den Halm in die Blätter gelangt sein. Hier nun kann denkbarer Weise durch den fortwährend ausgeschiedenen activen Sauerstoff eine partielle Oxydation dieser schwefelhaltigen Verbindungen vor sich gehen und so durch einen secundären Proceß die Schwefelsäure regenerirt werden. Von da aus ist wiederum eine Wanderung und weitere Verwendung dieser Substanz möglich; eine solche Wanderung ist durch die Zunahme der Schwefelsäure in den oberen Stengeln zur Zeit der Blüthe und beginnenden Reife und später in den Früchten angedeutet.“ Arendt[1]).

Phosphorsäure. Bis zur beginnenden Reife nimmt der procentische Gehalt der Trockensubstanz der Axe an Phosphorsäure von unten nach oben, vom ersten Stengelgliede bis zu den Aehrchen, zu; beim Reifen enthalten aber die Stengelglieder so ziemlich gleiche Procente, während das Aehrchen bedeutend reicher wird. Die Trockensubstanz der oberen und unteren Blätter

---

[1]) A. a. O. Seite 157.

ist nach dem Schossen in ihrem procentischen Phosphorsäuregehalte ebenfalls nicht wesentlich verschieden; vor dem Schossen enthält die Trockensubstanz der oberen Blätter mehr Procente.

1000 Pflanzen nehmen Phosphorsäure auf in

Periode	I.	II.	III.	IV.	V.	
	3,27	2,72	4,33	2,58	1,33	Gramm,

also während der Blüthe ist die Aufnahme am stärksten. Die untern Stengelglieder nehmen Phosphorsäure in der 1. und eine kleine Menge in der 3. Periode auf, wovon sie in den übrigen Perioden abgeben. Mittlere und obere Stengelglieder nehmen die genannte Säure in der Zeit des Schossens und der Blüthe auf, verlieren aber von der aufgenommenen Menge zur Zeit des Reifens, besonders die oberen. Von den Blättern wird sie nur in der ersten Periode aufgenommen, von da an bis zur Reife geben sie beständig davon ab. In den Aehrchen nun vermehrt sich die Phosphorsäure fortwährend bis zur Reife.

Die Aehrchen von 1000 Pflanzen nehmen auf in

Periode	I.	II.	III.	IV.	V.	
	—	2,362	3,000	5,310	1,846	Gramm.

Wie man sieht, wird der Haferpflanze während der Blüthe die meiste Phosphorsäure zugeführt; alle Theile der Axe nehmen auf, vorzüglich die Aehrchen und das obere Stengelglied. Zur Zeit des Reifens nimmt das Aehrchen bedeutende Mengen auf, wozu nicht nur die Nahrungsflüssigkeit sondern alle andern Theile der Pflanze beitragen; man bemerkt hier eine recht auffallende Wanderung der Phosphorsäure aus allen Pflanzentheilen nach dem Aehrchen, wo sie in großer Menge consumirt wird.

Arendt[1]) spricht die Vermuthung aus, daß diese Säure nicht in Verbindung mit einer anorganischen Base in die Aehrchen eintrete, oder daß wenigstens die Base außerhalb zurückgelassen werde. „Die mineralischen Basen nehmen in geringerem Verhältniß zu als die Säuren, nur die Magnesia vermehrt sich bis zur Reife. Die von einer Periode zur andern in die Aehrchen übergegangenen Basen reichen nur etwa in der dritten Periode noch hin, zweibasische Verbindungen mit den gleichzeitig aufgenommenen Säuren zu bilden; bei der beginnenden Reife ist nur noch die Einführung halbbasischer Verbindungen möglich, und endlich sehen wir die Säure ohne jede Spur von Basen in die reifende Frucht einwandern. Offenbar müssen hierbei organische Verbindungen (basischer Natur) eine gewisse Rolle spielen, worüber sich aber zur Zeit noch nichts Gewisses aussprechen läßt." Ich glaube jedoch, daß man hier dem

[1]) A. a. O. Seite 160 u. f. w.

Ammoniak eine Rolle zuweisen darf, welche Base Arendt bei seinen Reflexionen nicht mit in Betracht zog. Bedenkt man, daß der Stickstoff, wenigstens der in Proteinverbindungen übergehende nur in Form eines Ammoniaksalzes (oder Salpetersäure?) in die Pflanze eintreten und sich durch dieselbe verbreiten kann, daß zweitens fertige Proteinverbindungen nicht oder doch nur äußerst schwierig die Zelle ihrer Entstehung zu verlassen und von einem Ort zum andern zu wandern vermögen, so darf man wol mit Bestimmtheit annehmen, daß die von Arendt gefundene Wanderung des Stickstoffs zum allergrößten Theile in der der Ammoniaksalze besteht.

Die Aehrchen von 1000 Pflanzen enthalten Stickstoff in

Periode	II.	III.	IV.	V.	
	8,291	4,706	18,916	6,948	Gramm.

Die größte Aufnahme des Stickstoffs, zur Zeit der beginnenden Reife, fällt demnach mit der größten Aufnahme der Phosphorsäure zusammen — Verhältnisse, welche uns schon auf eine Beziehung beider zu einander aufmerksam machen müßten. In der 5. Periode nehmen die Aehrchen von tausend Pflanzen 1,846 Gramm Phosphorsäure auf; diese Menge Phoshorsäure entspricht 3,41 Gramm phosphorsauren Ammoniaks von der Formel ($HO.2NH_4O$). PO_5, worin 0,72 Gramm N enthalten sind. Nun nehmen die Aehrchen von 1000 Pflanzen in dieser Periode 6,948 Gr. N auf, wovon doch wol 0,72 Gr. als ein Ammoniaksalz an Phosphorsäure gebunden eingetreten sein könnten. Außer der genannten Säure tritt in der letzten Periode auch noch Schwefelsäure und von Basen Magnesia ein, welche letztere jedoch vollständig hinreicht, um die Schwefelsäure zu binden, so daß nur noch Phosphorsäure übrig bleibt, für welche die Aehrchen in der letzten Periode keine entsprechende „mineralische Base" aufnahmen, welche jedenfalls aber an Ammoniak gebunden in die reifende Frucht eintrat.

Chlor. Die Trockensubstanz der mittleren Stengelglieder ist am procentisch reichsten daran, die der Aehrchen am ärmsten; die Trockensubstanz der oberen Blätter ist etwas reicher als die der untern. Die Chlorverbindungen kommen nur in kleinen Mengen vor.

1000 Pflanzen nehmen Chlor auf in

Periode	I.	II.	III.	IV.	V.	
	2,28	1,34	1,70	0,64	—0,18	Gramm.

Diesen Zahlen zu Folge nimmt das junge Haferpflänzchen am meisten Chlorverbindungen auf; aber auch während des Schossens und der Blüthe ist die Aufnahme verhältnißmäßig nicht gering. Zum erstenmal sehen wir hier eine Abnahme eintreten; in der 5. Periode geht Chlor aus der

Pflanze fort. Die Stengelglieder nehmen während des ganzen Lebens der Pflanze Chlor auf; die Aehrchen bis zur beginnenden Reife, die unteren Blätter nur in der 1. Periode, die oberen Blätter bis zur Blüthe. Die oberen Blätter während des Reifens, die Aehrchen in der letzten Zeit des Reifens und die untern Blätter von der Zeit des Schossens an verlieren Chlorverbindungen. Sahen wir bei der Phosphorsäure von der Blüthe der Pflanze an eine Wanderung nach oben, so lernen wir jetzt auch bei dem Chlor eine Wanderung nach unten kennen, die in der letzten Zeit der Vegetation so stark wird, daß Chlor aus der Pflanze austritt. Ueber die Ursache dieses Auftretens können wir kaum im Zweifel sein: die Chlorverbindungen können in der Pflanze kaum anders als in löslicher Form vorkommen, im Safte gelöst; die Concentration des Zellsaftes entspricht in Bezug auf Chlorverbindungen der der Nahrungsflüssigkeit; bei dem Reifen aber verliert die Pflanze Wasser, der Zellsaft concentrirt sich und Chlor tritt aus der Pflanze aus, um sich mit der Nahrungsflüssigkeit ins Gleichgewicht zu setzen.

Kalk. Der procentische Gehalt der Trockensubstanz an Kalk steigt in der Axe von dem 1. Stengelgliede bis zu den Aehrchen, in letzterem geht er indeß nach dem Blühen zurück; in den untern Blättern ist er größer wie in den oberen, doch gleichen sich beide während des Reifens aus. In der reifen Pflanze verhält sich der lösliche Kalk zum unlöslichen in den untern Stengelgliedern wie 2,6 : 1, in unteren Blättern wie 2,2 : 1; in mittleren Stengelgliedern wie 2,8 : 1, in oberen wie 6,7 : 1 und in oberen Blättern wie 3,2 : 1. In den nicht reifen Pflanzen müssen noch größere Mengen Kalk in diffundirbaren Formen vorhanden sein.

1000 Pflanzen nehmen Kalk auf in

Periode	I.	II.	III.	IV.	V.
	4,48	4,02	3,10	2,98	0,50

Die größte Menge Kalk wird von dem ganz jungen Pflänzchen aufgenommen, in den späteren Perioden wird die Aufnahme fortwährend kleiner. Die Axe nimmt bis zur Reife Kalk auf, nur die oberen Stengelglieder und die Aehrchen verlieren in der letzten Zeit des Reifens etwas von dem früher aufgenommenen Kalke; die unteren Blätter nehmen nach der Blüthe keinen Kalk mehr auf; die oberen Blätter dagegen bis zur Reife. Was die Aehrchen und das obere Stengelglied in der letzten Zeit des Reifens verlieren, scheint in die oberen Blätter überzugehen.

Magnesia. In der Trockensubstanz der Axe nimmt der procentische Gehalt der Magnesia von unten bis zu den Aehrchen zu; nur während des Reifens nimmt er bei dem Aehrchen etwas ab, so daß er unter den des oberen Stengelgliedes fällt; in der Trockensubstanz der oberen Blätter

ist der procentische Gehalt etwas größer als in der unteren. Bei der reiferen Pflanze herrscht lösliche Magnesia vor, besonders bedeutend in den Blättern; nur das obere Stengelglied macht eine Ausnahme, hier herrscht unlösliche vor.

1000 Pflanzen nehmen Magnesia auf in

Periode	I.	II.	III.	IV.	V.
	1,53	1,17	1,01	1,71	1,03

Die Aehrchen nehmen bis zur Reife von dieser Base auf; die unteren Stengelglieder in der 1. und 4. Periode, die mittleren und oberen bis in die 4. Periode; die Blätter nehmen bis zur Reife auf, geben aber während des Schossens und Blühens gleich den untern Stengelgliedern ab, welcher Verlust jedenfalls den Aehrchen zu Gute kommt. In der 4. Periode, bei der beginnenden Reife, ist die Magnesia-Aufnahme am lebhaftesten; in dieser vermehrt sich ihre Menge in allen Theilen der Pflanze; später verlieren die Stengelglieder wieder einen Theil, welcher sich nach oben, nach den Aehrchen besonders hinzieht. Also auch die Magnesia zeigt schon von der Zeit des Schossens an eine Wanderung nach den Aehrchen und eine Anhäufung daselbst; über die Hälfte der in jeder Periode aufgenommenen Magnesia häuft sich in den Aehrchen an, wie man aus Folgendem ersieht:

Die Aehrchen von 1000 Pflanzen nehmen Magnesia auf in

Periode	II.	III.	IV.	V.
	0,895	0,655	0,759	0,683 Grm.

Kali. Während des Schossens nimmt die Trockensubstanz des Stengels in dem procentischen Kaligehalte von unten nach oben zu; später gleichen die einzelnen Theile des Stengels sich aus; das Aehrchen ist der procentisch kaliärmste Theil der Axe. Die Trockensubstanz der Blätter ist in den untern Blättern procentisch reicher als in den obern. Das Kali scheint nur in äußerst geringen Mengen unlöslich vorzukommen.

1000 Pflanzen nehmen auf resp. verlieren Kali in

Periode	I.	II.	III.	IV.	V.
	17,05	14,05	9,09	4,14	—0,68 Grm.

Die jüngste Pflanze, in der 1. Periode, nimmt am lebhaftesten Kali auf, später wird die Aufnahme immer geringer, bis schließlich Kali aus der Pflanze ausgeschieden wird. Die Stengelglieder nehmen bis zur Reife Kali auf und ist die von den obern in der Zeit des Reifens aufgenommene Menge größer als die früher aufgenommene. Die Blätter verlieren schon von der Blüthe an, die Aehrchen vom Reifen an Kali; also auch bei dieser Base findet eine Wanderung aus den Blättern und

den Aehrchen statt, die auf den Stengel, Wurzel und Nahrungsflüssigkeit übergeht. Die Ursache ist unzweifelhaft die bei'm Chlor genannte.

An die vorstehende Schrift von Arendt über die Haferpflanze läßt sich eine jüngst von Professor Anderson [1]) mitgetheilte Arbeit über Turnips zweckmäßig anreihen. Anderson untersuchte gesondert Wurzel und Blätter der Turnipsrübe in verschiedenen Perioden ihres Wachsthums; er bestimmte den Gehalt an Trockensubstanz und Wasser, den Gehalt an stickstoffhaltigen und stickstofffreien organischen Substanzen und an Asche. Diese Arbeit ist besonders deshalb für uns von besonderem Interesse, weil alle Bestimmungen sich auf die frische, wasserhaltende Pflanze beziehen, nicht auf die Trockensubstanz; wir bekommen dadurch ein übersichtlicheres Bild über die Vegetation der Turnips, über die Vertheilung und die Bewegungserscheinungen der Stoffe in ihr. Der Gehalt an Eiweißkörpern ist aus dem durch Elementaranalyse berechneten Stickstoffgehalte berechnet.

Die Turnipspflanzen (Varietät Aberdeen purple-top), welche analysirt wurden, sind auf einem leichten, sandigen, gutgedüngten Boden in der Nähe von Kirkintilloch in Schottland gebaut. In der ersten Woche des Juni wurde die Einsaat gemacht und in vier Perioden geerntet und untersucht und zwar

I.	Periode	7. Juli,
II.	—	11. August,
III.	—	1. September,
IV.	—	5. October.

100 Theile frischer Substanz enthielten

Periode	Wasser	Trocken-substanz	Eiweißkörper	Organische Stoffe ohne Eiweißkörper	Asche
			von Blättern		
1.	92,08	7,92	2,51	4,79	0,62
2.	90,90	9,10	1,84	5,38	1,88
3.	89,10	10,89	0,76 (?)	8,18 (?)	1,95
4.	88,45	11,55	2,40	7,27	1,88

[1]) Journ. of agric. and transact. of the Highl. Soc. 1860 Nr. 68 und Nr. 69; Chemisches Centralblatt, 1860, Nr. 50.

Periode	Wasser	Trocken-substanz	Eiweißkörper	Organische Stoffe ohne Eiweißkörper	Asche
			von Wurzeln		
1.	81,13	18,87	6,31	9,22	3,34
2.	89,90	10,10	1,06	8,16	0,88
3.	90,02	9,97	1,40	7,55	1,02
4.	90,50	9,50	1,18	6,33	1,99

Die Vergleichung dieser Zahlen lehrt uns in Betreff der Blätter, daß der procentische Gehalt an Trockensubstanz um so mehr zunimmt, als die Blätter älter werden, eine Zunahme, welche vorwaltend auf die Vermehrung der stickstofffreien organischen Substanz fällt, in Betreff der Wurzeln, daß der procentische Gehalt der Trockensubstanz mit dem Alter abnimmt in Folge einer Zunahme des Wassers, wie ich später darzuthun versuchen werde, daß also die Wurzeln immer wässriger werden. Besonders auffallend ist die plötzliche und starke Abnahme der Eiweißkörper bei den Wurzeln in der 2. Periode. Die Wurzeln der 1. Periode waren noch faserig, die knollige Entwicklung der Haupt- oder Pfahlwurzel trat erst in der 2. Periode ein; in der 2. Periode fand demnach eine starke Zellenbildung statt, welche die Entwicklung des Wurzelparenchyms zur Folge hatte; in dieser Zellenneubildung kamen die eiweißartigen Stoffe zur Verwendung, sie vertheilten sich auf eine weit größere Anzahl Zellen; der Inhalt der Wurzelfaserzellen in der 1. Periode war reich an proteinreichen Stoffen, nach der Ausbildung oder größeren Entwickelung des Wurzelparenchyms und der Vertheilung dieser Stoffe auf eine größere Anzahl Zellen und eine größere Menge Wasser ist der Zelleninhalt und damit die Wurzel procentisch ärmer daran geworden. Es wurde zwar, wie sich später herausstellen wird, in der 2. Periode eine verhältnißmäßig große Menge proteinartiger Stoffe neugebildet, aber die Neubildung entsprach nicht dem Eintritte von Wasser in die Wurzel, in die Parenchymzellen derselben, sie vermochte nicht den Procentgehalt zu einer der 1. Periode entsprechenden Höhe zu heben. Wenn der Procentgehalt der Eiweißkörper in der 2. Periode abnimmt, so steigt er in den späteren Perioden wieder etwas. (Die Abnahme des Procentgehaltes der Eiweißkörper und die unverhältnißmäßige Zunahme des Procentgehaltes der stickstofffreien Substanz der Blätter in der 3. Periode beruht jedenfalls auf einem Irrthum, wie das hinlänglich aus der allmähligen Zunahme des Procentgehaltes der stickstofffreien Substanz von der 1. bis zur letzten Periode

hervorgeht — man darf wol unbedenklich statt 0,76 eine 1,9 nahe und statt 8,18 eine 6,0 nahe Zahl setzen.) Auch in der procentischen Zusammensetzung der Blätter machte sich in der 2. Periode, in welcher die Blätter ihre größte Ausbildung erreichten, eine Abnahme der eiweißartigen Stoffe geltend; von da an steigt indeß der Procentgehalt derselben wieder.

Um die Entwickelung der Turnipsblätter mit der Entwicklung der Haferblätter nach Arendt vergleichen zu können, was für jeden von Interesse sein wird, muß der Gehalt an Eiweißkörper u. s. w. auf 100 Trockensubstanz berechnet werden, welches in der nachfolgenden Tabelle geschehen ist. Zur Vergleichung habe ich dieser Tabelle die Procentzahlen der oberen Blätter der Haferpflanze beigefügt — ich habe deshalb die oberen Blätter gewählt, weil diese hinsichtlich des Stadiums der Entwicklung um meisten den Turnipsblättern entsprechen: die Blätter beider Pflanzen sind in der 1. Periode kaum entwickelt; in der 2. Periode tritt bei dem Hafer das Schossen, bei der Turnips ebenfalls die Größenentwicklung der Blätter ein; in der 3. Periode geht bei beiden die Entwicklung weiter und in der 4. Periode fängt die Haferpflanze an zu reifen, was von einem Absterben der Blätter begleitet ist, ein gleiches Absterben zeigte sich auch bei den Turnipsblättern. Holzfaser, Fett und stickstofffreie Substanz des Hafers entspricht der Anderson'schen „organischen Substanz ohne Eiweißkörper", welche ich kurzweg stickstofffreie organische Substanz nennen will.

100 Theile Trockensubstanz enthalten

	Periode I.	Per. II.	Per. III.	Per. IV.
Turnipsblätter				
Stickstoffhaltige Substanz . . .	31,69	20,22	—	20,78
Stickstofffreie Substanz	60,48	59,12	—	62,94
Asche	7,83	20,66	17,97	16,28
Obere Blätter des Hafers				
Stickstoffhaltige Substanz . . .	23,67	13,86	14,36	12,11
Stickstofffreie Substanz	68,55	79,10	78,67	84,16
Asche.	7,78	7,04	6,97	9,72

In der 2. Periode wird bei beiden Pflanzen eine starke Erniedrigung des Procentgehaltes der stickstoffhaltigen Stoffe eintreten, die indeß bei dem Turnipsblatte nicht ganz so groß ausgefallen sein würde, wenn der hohe Procentgehalt der Asche nicht mit darauf eingewirkt habe. Aus

der letztgenannten Ursache, dem sehr bedeutenden Steigen des Aschengehaltes ist es auch zuzuschreiben, daß bei den Turnipsblättern der Gehalt an stickstofffreien Substanzen nicht in die Höhe gegangen ist, wie dies bei den Haferblättern der Fall war; in Wirklichkeit ist also auch in den Turnipsblättern der Gehalt an stickstofffreien Stoffen gestiegen. Ueberraschend ist das Steigen der Aschenprocente der Turnipsblätter in der 2. Periode, während dieselben doch in der 1. Periode ziemlich gleich denjenigen der Haferblätter waren. In den Turnipsblättern bleibt der Procentgehalt der eiweißartigen Stoffe von der 2. Periode an ziemlich gleich, dasselbe finden wir bei den Haferblättern in der 2. und 4. Periode, während er in der 3. Periode um ein Kleines zunimmt. Der Procentgehalt der stickstofffreien Substanzen nimmt in beiden Pflanzen von der 2. Periode an etwas zu. In den Aschenprocenten zeigt sich bei Turnips von der 2. Periode an eine kleine Abnahme, bei den Haferblättern eine kleine Zunahme.

In der Erzeugung von organischen Stoffen scheinen also die Blätter der Turnips und des Hafers nicht wesentlich verschieden zu sein, ihre Entwicklung scheint denselben Gang zu nehmen, trotzdem die Organisation beider Pflanzen hinsichtlich der Wurzel so himmelweit verschieden ist. Die Blätter beider Pflanzen enthalten in der 1. Periode, wo auch die Turnipswurzel noch eine faserige Beschaffenheit hatte, so ziemlich übereinstimmende Procente Asche, in der 2. Periode aber, in welcher die knollige Ausdehnung der Turnipswurzel stattfand, steigt der Aschengehalt der Turnipsblätter sehr hoch; ob diese Eigenthümlichkeit der Ausdehnung der Wurzel zuzuschreiben oder ob die Ursache in einem reicheren Boden zu suchen ist, muß ich dahingestellt sein lassen.

Ehe ich zur Besprechung der Asche der Turnipsblätter und Wurzel übergehe, will ich zuerst eine Tabelle des procentischen Gehaltes der frischen Substanz an jedem einzelnen Aschenbestandtheile mittheilen, welche ich aus dem procentischen Gesammtaschengehalte der frischen Substanz und der procentischen Zusammensetzung der Asche jeder einzelnen Periode, wie sie Anderson mittheilte, berechnet habe.

100 Theile frischer Substanz enthalten

	Periode I.	Periode II.	Periode III.	Periode IV.
		in den Blättern		
Asche	0,620	1,880	1,950	1,880
Eisenoxyd	0,033	0,054	0,044	0,050
Kalk	0,137	0,275	0,254	0,127
Magnesia	0,037	0,121	0,144	0,257
Kali	0,064	0,324	0,454	0,291
Phosphorsäure . . .	0,068	0,231	0,204	0,213
Schwefelsäure	0,059	0,294	0,251	0,262
Kieselsäure	0,061	0,057	0,053	0,067
		in den Wurzeln		
Asche	3,340	0,880	1,020	1,990
Eisenoxyd	0,018	0,020	0,014	0,027
Kalk	0,417	0,075	0,087	0,241
Magnesia	0,280	0,036	0,041	0,100
Kali	0,654	0,284	0,298	0,558
Phosphorsäure . . .	0,382	0,108	0,113	0,202
Schwefelsäure	0,320	0,081	0,170	0,260
Kieselsäure	0,319	0,024	0,028	0,062

Das junge noch nicht entwickelte Blatt ist procentischarm an Asche zu nennen, was um so auffallender ist, als die junge Wurzel, d. h. die Wurzelfasern gleichzeitig sehr reich an Asche sind. Wenn man in der 1. Periode den Gehalt an dem leichtdiffundirenden Kali der Wurzel mit dem Kaligehalte der Blätter vergleicht, so soll man zu der Vermuthung kommen, daß die gelösten Stoffe nicht Zeit genug hatten, um aus der Wurzel in die Blätter hinauf diffundiren zu können. Erst in der 2. Periode steigt der Procentgehalt der Blätter an Asche und zwar sehr stark, Veränderungen, die auf eine sehr starke Wanderung der anorganischen Stoffe aus der Wurzel in die Blätter zurückschließen lassen, und um so mehr, als grade in derselben Zeit eine auffallende Erniedrigung des Aschengehaltes in der Wurzel eintritt, die jedoch zum Theil auch durch die große Einfuhr von Wasser bei ihrer knolligen Ausdehnung bedingt ist; es tritt diese Erscheinung besonders ausgeprägt bei Kalk, Magnesia und Schwefelsäure auf. Bei den Blättern in der 2., 3. und 4. Periode ist der Gesammtaschengehalt ziemlich gleich; bei den Wurzeln ist er auch

in 2. und 3. Periode nicht sehr abweichend, hingegen steigt er in der 4. Periode wieder bedeutend, was auf eine stark vermehrte Einführung von anorganischen Stoffen aus dem Boden hindeutet.

Der Kalkgehalt bleibt in den Blättern während der 2. und 3. Periode ziemlich constant, fällt aber in der 4. Periode um die Hälfte; in den Wurzeln verändert sich der Kalkgehalt während der 2. und 3. Periode wenig, steigt indeß in der 4. sehr stark: es wird hier jedenfalls eine Rückwanderung des Kalkes aus den Blättern in die Wurzeln stattgefunden haben.

Der Magnesiagehalt steigt in den Blättern von der 2. bis zu Ende der 4. Periode, während er in den Wurzeln ziemlich gleich bleibt von der 2. bis zu Anfang der 4. Periode, dann aber noch einmal stark steigt. Die Magnesia scheint fortwährend in die Pflanze einzutreten, besonders stark aber in der 4. Periode.

Der Kaligehalt steigt in den Blättern in der 2. und 3. Periode, vermindert sich in der 4. wieder in einer auffallenden Weise; ebenso bleibt er in den Wurzeln bis zu Anfang der 4. Periode constant, steigt dann aber zu bedeutender Höhe: Verhältnisse, die eine Rückwanderung des Kali's aus den Blättern in die Wurzeln andeuten.

Die Schwankungen im Phosphorsäuregehalt sind von so großer Bedeutung nicht; in den Blättern tritt eine allmählige kleine Abnahme, in den Wurzeln umgekehrt eine solche Zunahme bis zu Anfang der 4. Periode ein, dann wird die Zunahme weit stärker, der Gehalt erhöht sich fast auf das Doppelte.

Der procentische Schwefelsäuregehalt nimmt in den Wurzeln in der 3. und 4. Periode nicht unbedeutend zu, erleidet indeß in den Blättern nur geringe Schwankungen.

Die Schwankungen des Eisenoxyds und der Kieselsäure sind von geringer Bedeutung.

Einen tieferen Blick in die Oekonomie der Turnipsvegetation gewährt uns eine Vergleichung der absoluten Zunahme der Pflanzensubstanz, der organischen und anorganischen Stoffe. Anderson bestimmte die Menge Turnips, Rüben und Blätter gesondert, welche Ein englischer Acre zu Ende einer jeden Periode trug; hieraus hab' ich die absolute Zunahme eines jeden einzelnen Stoffes für Einen Acre berechnet.

Die Zahlenreihe A giebt die Menge Wurzeln und Blätter in englischen Pfunden an, welche Ein Acre nach Anderson zu Ende einer jeden Periode trug; die Zahlenreihe B repräsentirt die absolute Zunahme an Pflanzensubstanz in jeder Periode und die Reihe C die Zunahme für Einen Tag pro Acre.

Blätter.

		A	B	C
Periode	I.	219	219	7
—	II.	12793	12574	356
—	III.	19200	6407	320
—	IV.	11208	(Abnahme 7992)	—

Wurzeln.

		A	B	C
—	I.	7	7	0,2
—	II.	2762	2755	79
—	III.	14400	11638	582
—	IV.	36792	22392	640

Zunahme Eines englischen Acre's in englischen Pfunden [1])

	Periode I.	Periode II.	Periode III.	Periode IV.
Blätter				
Wasser	202	11427	5478	Abnahme
Trockensubstanz	17,4	1146	927	
Eiweißkörper	5,5	230	—	
stickstofffreie org. Subst.	10,5	678	—	
Asche	1,4	239	134	
Wurzeln				
Wasser	5,8	2477	10480	20334
Trockensubstanz	1,4	278	1157	2059
Eiweißkörper	0,5	29	172	233
stickstofffreie org. Subst.	0,7	225	862	1242
Asche	0,2	24	123	585

Die Pflanzen der 1. Periode sind noch wenig entwickelt gewesen, der unterirdische Theil bestand, wie bereits bemerkt, nur aus Faserwurzeln; der Blätter müssen wenige und diese sehr klein gewesen sein. In der 2. Periode entwickelte sich das Blattwerk der Turnips sehr stark, die Pflanzenmasse der Blätter vermehrte sich in einem enormen Grade, die tägliche Zunahme in dieser Periode ist 356 Pfund pro Acre; in der 3. Periode ist die Zunahme der Pflanzenmasse verhältnißmäßig nicht viel geringer als in der vorhergehenden; denn es werden jeden Tag noch

[1]) Die Tabelle, welche diesen Berechnungen zu Grunde liegt, findet man im Nachtrage.

320 Pfund Blattmasse producirt. (Die viel kleinere Zunahme der ganzen Periode rührt davon her, daß diese Periode viel kürzer war als die 2., nur 20 Tage umfaßte, wogegen die 2. 35 Tage dauerte.) Die Abnahme in der 4. Periode ist jedenfalls in einem Absterben und Abfallen der Blätter begründet; in dieser Periode beträgt die Blattmasse nur 0,6 von derjenigen der 3. Periode.

Die Production von Pflanzenmasse ist in den Wurzeln in der 2. Periode gering (die Wurzel hatte zu Ende derselben 1 Zoll Durchmesser), steigt indeß in der 3 Periode zu enormer Höhe, wird aber noch bedeutend von der Productivität der 4. Periode übertroffen. Der bedeutenden Vermehrung der Pflanzensubstanz der Wurzeln, der stärksten Ausbildung ihres Parenchyms in der 3. und 4. Periode geht also die Entwicklung des Blattwerks vorher.

In der 2. Periode sind in den Blättern alle Stoffe in Zunahme begriffen, besonders aber muß uns die Zunahme der anorganischen Bestandtheile auffallen; in den Wurzeln ist die Zunahme bedeutend geringer, an anorganischen Stoffen blieben nur 24 Pfd. in den Wurzeln, während doch die 239 Pfd. der Blätter durch sie hindurch gegangen sein mußten — es hatte hier also eine äußerst thätige Diffusion aus dem Boden in die Wurzel und von hier aus in die Blätter stattgefunden, besonders sind es Kalk, Kali, Schwefelsäure und Phosphorsäure, welche in reichlichster Menge in die Blätter hinauf diffundiren, während wenig von ihnen in den Wurzeln verblieb.[1])

In den Blättern durch alle Perioden vermehrt sich die Trockensubstanz in einem verhältnißmäßig stärkeren Grade, als das Wasser zunimmt, woher es denn auch kommt, daß man in der procentischen Zusammensetzung der Blattsubstanz, wie wir aus der früher mitgetheilten Tabelle wissen, um so weniger Wasser findet, als die Turnips älter geworden ist. Die Zunahme der Trockensubstanz und des Wassers verhält sich in jeder Periode wie folgt zu einander, wenn man die Zunahme der Trockensubstanz gleich 1 setzt.

I.	II.	III.
1 : 11,6	1 : 10,0	1 : 5,9

Entgegengesetzt verhält sich die Sache in den Wurzeln; hier nimmt das Wasser verhältnißmäßig stärker zu, als sich die Trockensubstanz

[1]) Wer sich für die Zunahme der einzelnen anorganischen Stoffe interessirt, findet im Nachtrage Tabellen, worin der Gehalt Eines Acre's und die Zunahme in jeder Periode für jeden einzelnen Stoff berechnet ist.

vermehrt: die Zunahme der Trockensubstanz verhält sich zu der Zunahme des Wassers, die erstere gleich 1 gesetzt, wie folgt:

I.	II.	III.	IV.
1 : 4,1	1 : 8,9	1 : 9,0	1 : 9,9

In der 2. Periode besonders herrscht der Uebertritt von Wasser über die Production von Trockensubstanz vor; in der 2. und 3. Periode ist das Verhältniß des eintretenden Wassers zu der gebildeten Trockensubstanz ziemlich gleich, während es in der 4. wieder etwas größer wird: Verhältnisse, welche durch die Schwankungen im procentischen Wassergehalte ebenfalls scharf ausgesprochen sind; so nahm nach der früheren Tabelle der procentische Wassergehalt in der 2. Periode um 9 % zu, in der 3. war er nahezu gleich der 2. und in der 4. nahm er um etwa ½ % zu. Die Rüben werden demnach immer wasserreicher, je älter sie werden, die Blätter wasserärmer. Es drängt sich uns nun die Frage auf, wodurch diese Erscheinung wol bedingt werde. Ich glaube nicht sehr zu irren, wenn ich die Ursache in der Verdunstung suche. In beiden Pflanzentheilen, in Blättern und Wurzel, vermehrt sich fortwährend die organische und anorganische Masse, fortwährend tritt in beide auch Wasser ein; aus den Blättern verdunstet aber Wasser, welches zwar aus der Wurzel ersetzt wird, hier aber hauptsächlich seinen Weg durch das Cambium nimmt; in der Wurzel häuft sich der größte Theil der Stoffe, das Wasser sowie die anderen Stoffe, im Parenchym an, welches Gewebe indeß nur in beschränkter Weise mit dem Cambium der Wurzel und in Folge dessen in beschränkter Weise mit den verdunstenden Zellen der Blätter in Verbindung steht; während also aus den Blättern beständig Wasser verdunstet und die neugebildete organische Masse den Procentgehalt an Trockensubstanz erhöht, ist die Wurzel durch die Lage ihres Parenchyms vor der Verdunstung mehr geschützt, die neugebildeten organischen, vorzüglich die eiweißartigen Stoffe führen anhaltend Wasser in die Wurzel, in ihr Parenchym ein, und weil von hier aus wenig verdunstet, häuft es sich in den Zellen an, wodurch sein Procentgehalt immer mehr steigt. Selbst im Falle, daß sich die Luftgänge, Intercellulargänge des Blattparenchyms in das Parenchym der Wurzel in reichlichster Menge fortsetzten, was mir übrigens nicht bekannt ist, so würde dennoch die Verdunstung aus der Wurzel eine geringe sein, weil die Diffusion des Wasserdunstes aus diesen tiefgehenden Luftgängen in die Atmosphäre eine sehr unvollkommene sein müßte; die Luftgänge des Wurzelparenchyms würden eine mit Wasserdunst gesättigte Luft einschließen, der Wasserdunst aber nur in beschränkter Weise aus ihnen fortgehen und dadurch eine weitere Verdunstung nur in beschränkter Weise möglich machen. Die

Diffusion des Wasserdunstes aus den Athemhöhlen und Luftgängen der Blätter kann leicht stattfinden.

Die Einführung der anorganischen Bestandtheile ist bedingt durch den Stoffwechsel oder die Bildung organischer Stoffe, durch Eintritt von Wasser in die Pflanze, indem dadurch die Concentration der Zellflüssigkeit vermindert und eine Ausgleichung von der Nahrungsflüssigkeit aus herbeigeführt wird, und drittens durch Erhöhung der Concentration der Nahrungsflüssigkeit, welche ein Hinüberdiffundiren in die Pflanze zur Folge hat. Bei der Turnips läßt sich nicht bestimmen, welchen Antheil ein jeder der Factoren bei der Zunahme der Aschenbestandtheile in den verschiedenen Perioden hatte, nur hinsichtlich der Nahrungsflüssigkeit ließen sich wol noch Schlüsse ziehen. Vergleichen wir einmal die Mengen anorganischer Stoffe, welche in jeder Periode auf 100 Theile neugebildeter organischer Substanz (Reihe A) und auf 100 Theile des eingetretenen Wassers (Reihe B) kommen:[1]) — in den Wurzeln —

Per.	I.	II.	III.	IV.
A	16,7	9,5	11,9	39,7
B	3,4	1,0	1,2	2,9

Die Mengen Aschenbestandtheile, welche auf 100 Theile Wasser eintreten, sind abhängig von der Concentration der Nahrungsflüssigkeit und der Bildung der organischen Substanz: man kann nun aber annehmen, daß 100 Theile neugebildeter organischer Substanz in jeder Periode gleiche Mengen anorganischer Stoffe eintreten machen, und daß in dem vorliegenden Falle jedenfalls nicht mehr als 9,5 Theile von diesen auf 100 Theile von jenen kommen, d. h. von 100 Theilen im Stoffwechsel verbraucht werden — in der 1. und 4. Periode konnten von 100 Theilen neugebildeter organischer Substanz nur 9,5 Aschenbestandtheile verbraucht werden; indeß ist in diesen Perioden bedeutend mehr eingetreten, welcher Umstand darauf hinweist, daß die Nahrungsflüssigkeit in dieser Zeit bedeutend höher concentrirt war als in der 2. und 3. Periode.

Indeß dürfen wir nicht vergessen, daß auch in die Blätter bedeutende Mengen anorganische Stoffe hineindiffundirten; auch diese müssen wir bei Beurtheilung der Concentration der Nahrungsflüssigkeit mit in Anschlag bringen. Rechnen wir für jede Periode die Zunahme der organischen Substanz in Blatt und Wurzeln, so auch die Zunahme der Asche in Blatt und Wurzel zusammen, so ist die Zunahme pro Acre

---

[1]) Aus der Zunahme der organischen Substanz und der Zunahme der Aschenbestandtheile jeder Periode berechnet.

in Periode	I.	II.	III.
an organischer Substanz	17,2	1161	1827
an Aschenbestandtheilen	1,6	263	257

Auf 100 Theile der neugebildeten organischen Substanz der ganzen Pflanze kommen

in Periode	I.	II.	III.	IV.
Aschenbestandtheile	9,3	22,6	14,1	39,7

Es wäre demnach in der 2. Periode die Concentration der Nahrungsflüssigkeit gestiegen, in der 3. wieder gefallen und in der 4. wieder bis zu einer noch nicht dagewesenen Höhe gestiegen; in der letzten Periode also müssen Umstände eingetreten sein, wodurch im Boden eine große Menge anorganischer Stoffe löslich gemacht wurden und die Concentration der Nahrungsflüssigkeit sich erhöhte. Hierfür spricht auch die bedeutende Zunahme des Eisenoxyds und der Kieselsäure in der 4. Periode. (Siehe die betreffende Tabelle im Nachtrage.) Wodurch im Boden in so reichlicher Menge die Nahrungsstoffe gelöst wurden, kann ich nicht angeben. Es ist ein großer Mangel der Vegetationsversuche, die meteorologischen und sonstigen Einflüsse nicht zu beobachten und nicht mitzutheilen. Ich habe früher schon wahrscheinlich gemacht, daß in der 4. Periode eine Rückwanderung gewisser Stoffe aus den Blättern in die Wurzel stattfindet, welche aber durchaus nicht hinreicht, um die bedeutende Zunahme der Aschenbestandtheile in der Wurzel zu erklären.

Wenn ich früher Kali und Kalk als zurückwandernde Stoffe der 4. Periode bezeichnete, so läßt sich Das auch noch näher darthun. Das Blattwerk ging in der 4. Periode zum Theil verloren; die Blattmasse Eines Acres in dieser Periode betrug 0,58 der vorhergehenden; die Aschenmenge der Blätter der 4. Periode betrug 0,56 der 3. Wäre die Menge eines jeden Aschenbestandtheiles in der 4. Periode unverändert geblieben, d. h. wäre nichts mehr in die zurückgebliebenen Blätter eingetreten oder aus denselben in die Wurzel zurückdiffundirt, so müßte die Menge eines jeden Aschenbestandtheiles in der 4. Periode 0,56 der Menge der 3. Periode sein; es wurde aber bei dem einen Stoffe mehr, bei dem andern weniger gefunden, wie die folgenden Zahlenreihen zeigen, wovon A die Menge repräsentirt, welche 0,56 der Menge der 3. Periode ist, B die Menge, welche wirklich gefunden wurde, und C die Ab- oder Zunahme.

	A	B	C
Eisenoxyd	4,73	5,60	+ 0,87
Kalk	27,31	14,23	—13,08
Magnesia	15,48	28,81	+13,33
Kali	48,82	32,62	—16,20
Phosphorsäure	21,94	23,87	+ 1,93
Schwefelsäure	26,04	29,36	+ 3,32
Kieselsäure	5,70	7,51	+ 1,81

Mit Ausnahme des Kalkes und Kalis hatten alle Stoffe noch zugenommen, besonders aber Magnesia; an den erstgenannten, an Kali und Kalk, hatten die Blätter aber mehr verloren, als dem Verluste an Blattmasse entspricht; es hätten 27 Kalk und 49 Kali gefunden werden müssen; es wurden aber nur 14 Kalk und 33 Kali gefunden, es waren demnach 13 Pfund von ersterem und 16 Pfund von letzterem aus den Blättern in die Wurzeln zurückdiffundirt. Ich erinnere daran, daß auch bei dem Hafer eine solche Zurückwanderung des Kalkes und des Kalis beobachtet wurde.

Wir haben in dem Vorhergehenden die Vegetation des Hafers und der Turnips verfolgt und dürfen wol annehmen, daß die bei Hafer gefundenen Verhältnisse sich bei allen Halmgewächsen, die der Turnips bei allen Wurzelgewächsen wiederfinden werden. Diesen Arbeiten mangelt aber noch Vieles, es muß die Methode ganz umgeschaffen werden, um einen klaren und leichten Einblick in die Vertheilung und Wanderung der Stoffe zu erlangen.

Wenn ich mich über den Gegenstand dieses Capitels so ausführlich verbreitete, so ging das nicht allein aus der Absicht hervor, vielseitig auf die Beziehungen der Stoffvertheilung zur Diffusion aufmerksam zu machen, sondern auch dem Phytochemiker die Unzulänglichkeit der bisherigen Arbeiten zu zeigen und ihm anzudeuten, welche Wege die Physiologie verlangt.

Noch einmal will ich darauf hinweisen, daß wir zunächst in die Familien der niedrigorganisirten Pflanzen hinunterzusteigen haben, wo eine Differenzirung der Gewebe noch wenig oder gar nicht hervortritt; hier lassen sich die chemisch-physikalischen, die physiologischen, Processe am leichtesten verfolgen. Ich glaube noch einmal an jene Algen erinnern müssen, bei welchen alle Lebensfunctionen in Eine Zelle zusammengedrängt sind, welche aber, freilich in größerer Zahl verwendet, noch Masse genug zu phytochemischen Untersuchungen liefern, wie Caulerpa prolifera, die oft fußlang und durch ihre nicht selten zollangen Blätter

oder blattähnliche Ausbreitungen und durch wurzelähnliche Gebilde Wasser aufnehmen. Bei ihnen läßt sich leicht der Eintritt der anorganischen Stoffe in die Zelle verfolgen, die Concentration der Zellflüssigkeit und der Gehalt an organischen Stoffen bestimmen. Von besonderer Wichtigkeit dürfte es bei physiologischen Untersuchungen sein, die Concentration des Zellsaftes der einzelnen Pflanzentheile zu untersuchen, was bis jetzt nur von Müller und Mittenzwei bei der Runkelrübe geschah, und bei der Bestimmung der organischen und anorganischen Substanz der Pflanze auf die gelösten und nicht gelösten Antheile Rücksicht zu nehmen. In gewissen Fällen möchte es vielleicht zweckmäßig sein, hinsichtlich der anorganischen Stoffe die Trennung der gelösten von den ungelösten Antheilen in der vegetirenden Pflanze vorzunehmen, dieselbe durch erosmotische Diffusion zu bewerkstelligen, indem die Wurzeln in reines Wasser gesetzt werden, welches so lange erneuert wird, bis keine feuerfesten Bestandtheile mehr aus der Pflanze austreten. Alle chemischen Gesichtspunkte physiologischer Arbeiten hier zu präcisiren, würde mich zu weit führen; in dem vorliegenden Capitel, welches hauptsächlich ja dem Zusammenwirken von Chemie und Physiologie gewidmet war, treten ihrer genug hervor, wenn sie auch nicht immer bestimmt ausgesprochen sind.

Pflanze und Boden in ihren Beziehungen zu einander.

Wir haben die Nahrungsflüssigkeit bis jetzt nur als solche betrachtet, unbekümmert darum, ob sie durch Wasser in gewöhnlichen Verhältnissen oder durch capillarisch angezogenes Wasser gebildet wurde. Sprach ich in dem Vorhergehenden von Nahrungsflüssigkeit, so war dies in der Regel eine verdünnte Salzlösung, worin die Pflanzen vegetirten; die Erscheinungen der Aufnahme der pflanzlichen Nahrungsmittel studirten wir an einer freien Nahrungsflüssigkeit, welche nicht von den chemischen und physikalischen Processen des Bodens beeinflußt war. Wir dachten uns meistens die Pflanze als Wasserpflanze, d. h. als solche, deren Wurzeln oder aufnehmende Zellen sich frei in der Nahrungsflüssigkeit befanden, ohne mit einem Boden in Berührung zu kommen; nun lehrt uns aber die Botanik, daß in der Natur nur ein kleiner Theil der Pflanzen wirkliche Wasserpflanzen sind, wie die Algen und einige Phanerogamen. Wir haben nun noch zu untersuchen, von welchem Einflusse der Boden auf die Ueberführung der Nahrungsstoffe in die Pflanze ist. Die Wurzeln der Bodenpflanzen befinden sich entweder in

einem mit Wasser durchtränkten Boden, in und an Seen, Sümpfen, Flüssen ꝛc., oder sie befinden sich in einem Boden, welcher nur geringere Mengen Wasser enthält. In jenem durchtränkten Boden sind alle Zwischenräume, die capillaren sowol wie nicht capillaren, mit Wasser erfüllt; in anderem Boden sind nur die capillaren Räume und in der Regel nur die kleinsten mit Wasser versehen, die übrigen führen Luft. In jenem Boden erzeugen sich Wurzeln, welche in diesem nicht der Aufnahme vorstehen können und zu Grunde gehen; ebensowenig accommodiren sich die in letzterem Boden entwickelten Wurzeln den Verhältnissen des mit Wasser durchtränkten. Jenachdem die Wurzeln sich in freier Nahrungsflüssigkeit oder in capillarisch gebundener befinden und in letzterem Falle noch den physikalischen und chemischen Einwirkungen ausgesetzt sind, könnte die Aufnahme der Nahrungsstoffe Verschiedenheiten zeigen; ich habe früher schon gesagt, daß man sich sogar dazu verleiten ließ, die Aufnahme bei Wasserpflanzen und Landpflanzen verschiedenen Gesetzen gehorsam sein zu lassen. Betrachten wir zunächst das Verhalten der Pflanze gegen das Wasser des Bodens.

Enthält ein Boden in seinen nichtcapillaren Räumen Wasser, so wird dieses eben so von der Wurzel aufgenommen werden, wie jedes andere freie Wasser, weshalb wir uns gleich zu dem capillarisch und hygroskopisch gebundenen Wasser wenden können.

Ich habe in einem früheren Capitel (Die Diffusion im Boden) schon gezeigt, daß jene chemische Anziehung, welche als Diffusionsbestreben in die Erscheinung tritt, der capillaren Anziehung des Bodens zu Wasser entgegen wirkt, daß die erstere größer ist als die letztere, und daß der concentrirte, besonders in Bezug auf eiweißartige Stoffe concentrirte Inhalt der Wurzelzellen und indirect jener Zellenparthien der Pflanze, welche vorwiegend der Saftleitung dienen, der Diffusionswege also, den Capillarräumen das Wasser zu entziehen vermag. Eine Pflanze, welche sich in einem Gefäße befindet, welches Wasser in gewöhnlicher Form, d. h. fließendes enthält, kann das Wasser aus dem Gefäße durch seine Wurzel bis zum letzten Tropfen aufnehmen; dasselbe vermag sie in einem Boden, der capillarisch gebundenes Wasser enthält; denn die chemische Anziehung in der Wurzelzelle, das Diffusionsbestreben der in diesen Zellen gelösten Stoffe, ist groß genug, um die Capillaranziehung im Boden zu überwinden. Es unterliegt, wie auch die gleich mitzutheilenden Versuche bestätigen werden, keinem Zweifel, daß dem Boden alles capillarisch gebundene Wasser entzogen werden kann; es fragt sich nun, ob auch das hygroskopisch im Boden gebundene Wasser von Pflanzen aufgenommen werden kann. Erbsenpflanzen fingen an zu vertrocknen, als

humusreicher Boden das Wasser bis zu 3½, ein Lehmboden bis zu 2½ und ein Sandboden bis zu 1½ Procent (100 Boden) verloren hatte. Auch Julius Sachs theilt uns einige hierauf bezügliche Versuche mit.[1]) Er nahm darauf Rücksicht, daß die Pflanzen zur Zeit, als sie dem Boden die letzten disponiblen Antheile Wasser entnahmen und anfingen zu welken, wenig Wasser durch die Blätter verdunsteten, wie dies der Fall ist bei feuchter Luft und bei Lichtmangel. So lange unter diesen Verhältnissen noch aufnehmbares Wasser im Boden vorhanden war, konnten die Pflanzen nicht welken. Eine Tabakpflanze fing an zu welken, als ein Humusboden (ein Gemenge von schwarzem Buchenhumus und Sand), welcher, bei 100° C getrocknet, auf 100 Gewichtstheile 46 Theile Wasser festhielt, noch 12,3 Procent seines Gewichtes Wasser enthielt. Eine andere gesunde Tabakpflanze wurde in einer regnerischen Nacht welk, als ihr Boden, welcher Lehm war, noch 8 Procent Wasser enthielt; 100 Gramm dieses Lehmbodens vermochten, bei 100° getrocknet, 52,1 Gr. Wasser festzuhalten. Bei derselben Temperatur welkte eine gleiche Tabakpflanze in einer regnerischen Nacht in einem Sande (grobkörniger Quarz), dessen wasserhaltende Kraft 20,8 war, bei 1,5 Procent Wassergehalt. Diese Versuche belehren uns zur Genüge, daß die Kraft, mit welcher die letzten Antheile Wasser im Boden festgehalten werden und von der Pflanze nicht aufgenommen werden können, der Hygroskopicität desselben entspricht; je größer diese ist, um so mehr Wasser wird gebunden und ist für die Pflanze nicht disponibel. In den angeführten Versuchen hielt der humusreiche Boden das meiste Wasser zurück, ihm folgte der thonige Boden (Lehm), die geringste Menge hielt der Sand zurück; grade so verhält sich auch die Hygroskopicität, der Humus absorbirt am meisten Wasserdunst, der Sandboden am wenigsten. Darnach zu urtheilen, ist es höchst wahrscheinlich, daß das hygroskopisch gebundene Wasser durch die Pflanze dem Boden nicht entzogen wird. Daß Julius Sachs, dessen Versuche Ansprüche auf Genauigkeit machen dürfen, so hohe Zahlen fand, und wenn ich das zurückgehaltene Wasser nur als hygroskopisch festgehaltenes betrachte, darf uns nicht wundern; denn unter günstigen Umständen, aus einer warmen und mit Feuchtigkeit vollständig gesättigten Atmosphäre, würde Humus und Thon gewiß nicht geringere Mengen Wasser hygroskopisch aufnehmen und binden. Versuche, bei welchen vorher die Hygroskopicität eines Bodens bestimmt wurde, und welcher nachher dem austrocknenden Einflusse einer Pflanze ausgesetzt wird, dürften meine Annahme bestätigen.

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen 3. Heft. Seite 235.

Gewisse Erscheinungen in der Natur scheinen meiner Annahme zu widersprechen. Wenn dem Boden monatelang kein Wasser durch Regen zugeführt wird und sich dabei doch die Vegetation auf Wald und Flur frisch erhält; wenn es in regenlosen Wüsten doch üppige und wasserreiche Pflanzen, wie Cacteen und Aloearten, giebt: so sollte man fast glauben, daß der Boden das aus der Atmosphäre hygroskopisch aufgenommene Wasser an die Pflanzen abzugeben vermöge. Auch Julius Sachs[1]) zeigte durch einen Versuch, daß eine Pflanze sich gesund erhielt in einem Boden, dem das Wasser nur in Form des Wasserdunstes einer nahezu gesättigten Atmosphäre zugeführt wurde; bei einem solchen Versuche blieb eine Pflanze zwei Monate hindurch (Juni und Juli) turgescent, ohne zu welken. Nimmt nun in diesen Fällen die Pflanze das hygroskopisch gebundene Wasser aus dem Boden auf, oder kann das hygroskopisch gebundene die Form des capillarisch gebundenen annehmen und dadurch der Pflanze zugänglich werden? Das Erstere ist, wie ich zur Genüge gezeigt habe, nicht wahrscheinlich; das Letztere kann jedoch unter gewissen Umständen stattfinden. Bringt man trocknen Boden in eine mit Feuchtigkeit gesättigte Atmosphäre, so entzieht der Boden der Atmosphäre Wasserdunst; es tritt aber ein Zeitpunkt ein, wo der Boden sich mit hygroskopisch gebundenem Wasser gesättigt hat, wo er nichts mehr aufzunehmen vermag, wenn ihm auch noch so viel Wasserdunst geboten ist. Unter diesen Verhältnissen also geht das hygroskopische Wasser nicht in capillarisches über; es muß also noch eine andere Kraft hinzutreten, die dies möglich macht — es ist das die Erniedrigung der Temperatur des Bodens, die Thaubildung. Es ist bekannt, daß Flächen, welche Wasserdunst auf sich verdichtet, hygroskopisch gebunden haben, das Wasser in tropfbarflüssige Form übergehen lassen, wenn sich ihre Temperatur erniedrigt. So auch im Boden: die Oberfläche der Bodentheilchen hält größere Mengen Wasserdunst fest; sobald wie ihre Temperatur heruntergeht, wird tropfbarflüssiges Wasser condensirt, welches sogleich von den capillaren Wirkungen des Bodens beherrscht wird. Die Thaubildung also ist es, die hygroskopisch gebundenes Wasser für die Pflanze aufnehmbar macht. Man kann wol annehmen, daß die Luft der nicht mit Wasser erfüllten capillaren Räume des Bodens mit Wasserdunst gesättigt ist, und es bedarf dann nur der geringsten Temperaturerniedrigung des Bodens, um aus dieser Luft Wasser in tropfbarflüssiger Form niederzuschlagen. Auf dieselbe Weise sprach sich jüngst auch Boussingault über die Sache aus. „In einer sehr geringen Tiefe unter der Oberfläche des Bodens ist die Atmosphäre

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen, Heft 3, Seite 236.

von wässrigem Dunst gesättigt, die geringste Erniedrigung der unterirdischen Temperatur verursacht einen Nebel, einen Thau, wovon die Tröpfchen, welche auf den Wurzeln niedergeschlagen liegen, in ihrer Berührung mit der Erde Substanzen aufnehmen und dann in die Vegetabilien überführen, welche dahin nicht anders gelangen konnten, als auf dem Wege der Auflösung. Die Verdichtung des Dunstes, das Erscheinen eines wässrigen Meteors in der abgeschlossenen Atmosphäre läßt mich jetzt begreifen, wie die Pflanze durch diese selbst bei Zeiten der größten Dürre Wasser in einem Boden findet, der gar nicht angefeuchtet ist."

Aus dem Vorhergehenden ist uns klar geworden, daß die Pflanze dem Boden alles capillarisch festgehaltene Wasser zu entziehen vermag, und wir haben gleichzeitig gesehen, daß sie hierzu keiner anderen Kraft bedarf, als auch die Wasserpflanze besitzt, deren Wurzel sich in freiem (fließendem) Wasser befindet.

Die Pflanze verdunstet Wasser durch die Blätter, die Diffusion führt es aus den Wurzeln den Blättern fortwährend zu; die Wurzeln nehmen es aus den Capillarräumen auf und den dadurch leergewordenen Capillarräumen wird es wieder aus andern durch Capillarität zugeführt. Ich habe früher gezeigt, wie in einem Boden, dem nicht so viel Wasser von irgend einer Seite zugeführt wird, daß alle Capillarräume mit Wasser erfüllt sind, die kleineren Capillarräume den größeren das Wasser entziehen. Indem nun die Pflanze aus den ihre Wurzel begrenzenden Capillarräumen das Wasser aufnimmt, entziehen die kleineren den größeren so lange das Wasser, bis auch aus den kleinsten das Wasser verschwunden, bis der Boden ausgetrocknet ist.

Die Schnelligkeit, mit welcher einer Pflanze das verdunstende Wasser ersetzt wird, ist abhängig von der physikalischen Beschaffenheit des Bodens, und zwar hauptsächlich von dem Verhalten der Capillarräume gegen die Wurzel. Im Boden sind die verschieden großen Capillarräume und die nicht capillaren Räume so ziemlich gleichmäßig über die ganze Bodenmasse verbreitet; die Wurzel steht demzufolge auch mit an Größe sehr verschiedenen Capillarräumen in Berührung. Ein Boden, welcher viele größere Räume enthält, muß auch der Wurzel viele solcher darbieten; diejenigen Wurzelzellen, welche mit solchen wasserleeren Räumen in Berührung stehen, führen der Pflanze kein Wasser zu; ein Boden, welcher hingegen meistens kleinere Capillarräume enthält, bietet, indem diese, so lange der Boden noch nicht ausgetrocknet ist, immer Wasser enthalten, mehr Wasser der Wurzel dar, als im ersterwähnten Boden oder mit andern Worten: die Wurzel hat eine größere aufnehmende Fläche, weil die meisten ihrer Zellen mit wassererfüllten Capillarräumen

in Verbindung stehen. In diesem Boden muß mehr Wasser der Pflanze zugeführt, das verdunstende schneller ersetzt werden als in jenem. Sand- und Lehmboden bieten uns für die beiden genannten Fälle Beispiele. Der Sandboden mit seinen großen Zwischenräumen und der dadurch bedingten geringen wasserhaltenden Kraft muß der verdunstenden Pflanze weniger Wasser zuführen, die Verdunstung mehr verlangsamen als der Lehmboden, worin die kleineren Capillarräume vorherrschen. Julius Sachs führt zwei Versuchsreihen an, welche diese Ansicht bestätigen.[1]) Von zwei gleichentwickelten Tabakpflanzen, die eine in einem grobkörnigen Sande, die andere in Lehmboden vegetirend, verdunstete die im Lehmboden stehende mehr Wasser als die im Sandboden, nachdem beide sich vorerst ihrem Boden accomodirt hatten.

Es verdunsteten zwei gleichentwickelte Tabakpflanzen

	im Sand	im Lehm
bei Versuch I. (in 7 Tagen)	175,4 Gramm	190,4 Gramm,
bei Versuch II. (in 12 Tagen)	101,5 —	108,7 —

Die Pflanzen des 1. Versuches waren bedeutend größer als die des 2. Versuches.

Der Experimentator leitet diese Eigenthümlichkeiten von einem innigeren Anlegen der Lehmtheilchen an die Wurzel her.

Wenn der Boden austrocknet, so werden immer mehr Capillarräume wasserleer; auch die wurzelberührenden verlieren ihr Wasser von den größeren zu den kleineren, wodurch die wasseraufnehmende Wurzelfläche immer kleiner, die Ersetzung des aus der Pflanze verdunstenden Wassers träger wird, bis endlich die Pflanze welkt.

Das im Boden capillarisch gebundene Wasse enthält Salze und in den meisten Fällen auch Kohlensäure aufgelöst, beide, das Wasser und die gelösten Stoffe, bilden die Nahrungsflüssigkeit der im Boden wachsenden Pflanze. Die aufgelösten Stoffe sind den Gesetzen der Hydrodiffusion unterworfen. Die gelösten Stoffe sind stetig in Bewegung, um das in der Nahrungsflüssigkeit durch Aufnahme neuer Mengen gelöster Stoffe oder durch Ausscheidung solcher aus der Lösung gestörte Gleichgewicht herzustellen. Die Nahrungsflüssigkeit im Boden und die Zellflüssigkeit in der Pflanze, zum wenigsten in denjenigen Zellenparthien, welche vorwiegend der Saftleitung dienen, bilden ein Ganzes, eine zusammenhängende Flüssigkeitsmasse, worin beständig Diffusionsströmungen zugegen sind. Wir haben gesehen, daß die Zellenmembrane dem Diffusionsbestreben,

---

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen, Heft 3, Seite 230.

der Concentrationsausgleichung, kein Hinderniß in den Weg setzen, daß die Concentrationsausgleichung auch durch Membrane stattfinden kann, mit Ausnahme einiger schwer diffundirenden organischen Stoffe, nämlich der eiweißartigen Substanzen, der schleimigen Kohlenhydrate und gewisser pectinartiger Stoffe. Wird in der Zellflüssigkeit der Pflanze das Gleichgewicht der gelösten Stoffe gestört, so erzeugt diese Störung eine Ausgleichung, welche in die Nahrungsflüssigkeit übergeht; ebenso wird eine Gleichgewichtsstörung in der Nahrungsflüssigkeit eine Ausgleichung zur Folge haben, welche sich in die Zellflüssigkeit der Pflanze fortpflanzt. Wird an irgend einem Orte in der Pflanze ein Salz consumirt und aus der Lösung ausgeschieden, so wird von der Wurzel her eine Ausgleichung herbeigeführt, wodurch zwischen dem Inhalte der Wurzelzellen und der Nahrungsflüssigkeit in den die Wurzelzellen berührenden Capillarräumen eine Concentrationsdifferenz entsteht, die aber durch Diffusion im Boden wieder ausgeglichen wird. Die Consumtion eines gelösten Stoffes in der Pflanze erzeugt eine Diffusion im Boden, wodurch der consumirte Stoff der Wurzel zugeführt wird und in neuen Mengen in die Pflanze eintritt. Die Nahrungsflüssigkeit löst fortwährend neue Mengen pflanzlicher Nahrungsstoffe auf und sobald die Concentration der Nahrungsflüssigkeit in Bezug auf gewisse Stoffe höher wird als die Concentration der Zellflüssigkeit, so diffundiren diese Stoffe so lange in die Pflanze hinein, bis eine Ausgleichung zwischen Nahrungsflüssigkeit und Zellflüssigkeit herbeigeführt wurde. In der Pflanze erzeugen sich Stoffe, welche die Zellflüssigkeit in ihrer Concentration gegen die Nahrungsflüssigkeit erhöhen; werden diese Stoffe auf irgend einem Diffusionswege zu den Wurzelzellen geführt, so treten sie in die Nahrungsflüssigkeit aus.

Insoweit die pflanzlichen Nahrungsstoffe in der Nahrungsflüssigkeit gelöst enthalten sind, bieten sie ihrer Aufnahme in die Pflanze keine Hindernisse; nun wissen wir aber, daß ein Theil der Nahrungsstoffe im Boden eine eigenthümliche Zersetzung erleidet, wobei der eine oder der andere ihrer Bestandtheile unlöslich oder schwerlöslich in Wasser ausgeschieden und der Diffusion entzogen wird; hierher gehören vorzüglich die Kali- und Ammoniaksalze, deren Base und die phosphorsauren und zum Theil auch die kieselsauren Salze deren Säure, unter Umständen auch mit der Base ausgeschieden wird. Zu den aus der Nahrungsflüssigkeit nicht ausgeschieden werdenden Stoffen gehören die Kalk-, Magnesia- und vielleicht auch Natronsalze, in Verbindung mit Schwefelsäure, Salpetersäure, Kohlensäure und Chlor; diese sind in der Nahrungsflüssigkeit immer in diffundirbarer Form enthalten. Aber auch die obengenannten unlöslich oder schwerlöslich ausgeschiedenen Stoffe können

wieder in Lösung treten und zwar durch die Einwirkung freier Säuren, selbst sogar schon durch die Einwirkung des Wassers, wenn auch hierbei nur in geringer Menge. Zu diesen Säuren gehören vorzüglich Kohlensäure und gewisse in der Pflanze gebildete und durch die Wurzeln aus der Pflanze austretende organische Säuren. In reichlichster Menge wird der Nahrungsflüssigkeit die Kohlensäure geliefert durch die Zersetzung der humosen Stoffe im Boden. Ich habe im Capitel „Die Diffusion im Boden" gezeigt, daß die Kohlensäure-Entwicklung eine beständige sein muß, wenn die wiedergelösten Basen oder die Phosphorsäure in Lösung erhalten werden sollen; die Nahrungsflüssigkeit muß immer freie Kohlensäure enthalten, sobald wie diese fehlt, können die gelösten Stoffe wieder von Neuem durch die Wirkung des Bodens ausgeschieden werden. Wir wissen aus den früher erwähnten Versuchen Peters', daß die auflösende Wirkung der Kohlensäure auf absorbirte Stoffe eine ziemlich kräftige ist. Peters behandelte rohe Erde und solche, welche Kali absorbirt hatte, mit der fünffachen Menge Wasser, welches vorher mit Kohlensäure gesättigt worden war, in verschlossenen Flaschen 8 Tage lang, während welcher Zeit das Wasser viermal von Neuem mit Säure imprägnirt wurde.

Es lösten sich durch diese Behandlung aus 100 Gramm Erde:

Erde mit 0,1535 Gramm absorbirtem Kali . . .	0,0378	Grm.	Kali
desgl. . . .	0,0554	—	—
Erde mit 0,1226 Gramm absorbirtem Kali . . .	0,0488	—	—
desgl. . . .	0,0548	—	—
Gewöhnliche rohe Erde	0,0084	—	—
desgl.	0,0092	—	—

Von dem absorbirten Kali wurde also $^1/_5$—$^1/_3$ gelöst. Die aus der rohen Erde gelöste Kalimenge ist beträchtlich; es würden auf diese Weise aus einem Morgen Land, dessen Ackerkrume nur $1^1/_2$ Million Kilogramm beträgt, schon 126 Kilogramm Kali gelöst werden. Mit unserm Ackerboden kommt freilich nicht eine so große Menge Wasser in Berührung, wie bei diesen Versuchen; indeß thut das zur Sache auch nichts; denn die Kohlensäure ist das lösende Agenz und nicht das Wasser; jemehr Kohlensäure dem Boden zugeführt wird oder sich in ihm entwickelt, um so mehr Stoffe werden gelöst, ob die gelösten Stoffe nun in einer größeren oder geringeren Menge Wasser gelöst sind, bleibt sich am Ende gleich. Nach diesen Versuchen kann es keinem Zweifel mehr unterliegen, daß die durch freie Kohlensäure gelösten Stoffe in Lösung erhalten werden können, wenn nur eine genügende Menge freie Kohlensäure im Boden vorhanden ist; dasselbe gilt von einem Boden, dessen Nahrungsflüssigkeit beständig mit Kohlensäure gesättigt ist oder doch größere Mengen davon

enthält. Wir müssen uns nun die Frage vorlegen, ob die Nahrungsflüssigkeit eines Bodens auch so viel Kohlensäure gelöst enthält, als zur Löslichhaltung der leicht absorbirt werdenden Stoffe nöthig ist. In Bezug auf gedüngten Ackerboden und jeden andern mit humosen Substanzen in reichlicher Menge versehenen Boden, welcher so viel atmosphärische Luft in seinen wasserleeren Zwischenräumen enthält, daß die Zersetzung der humosen Substanzen beständig vor sich gehen kann, läßt sich die Frage wol mit „Ja" beantworten. Directe Versuche sind mir nicht bekannt; wir wissen aber, daß die Luft eines solchen Bodens kohlensäurereich ist und es ist gar nicht denkbar, daß das in den capillaren Zwischenräumen enthaltene Wasser, welches der Luft des Bodens eine große Fläche darbietet, nicht in hinreichender Menge Kohlensäure absorbiren sollte. Das Bestehen einer kohlensäurereichen Luft im Boden ist bei der Gegenwart einer so großen absorbirenden Wasserfläche, wie wir sie im Boden durch die capillare Vertheilung des Wassers finden, unmöglich; das Wasser ist, wenn die Luft kohlensäurereich wird, höchst wahrscheinlich schon mit Kohlensäure gesättigt. Ein leichter Sandboden schloß eine Luft ein, von welcher 100 Volum 0,93 Volum Kohlensäure enthielten, wenn er lange nicht gedüngt war; kurze Zeit vor der Untersuchung gedüngt, fand man darin 2,17, und nach einem Regen sogar 9,74 Volum Kohlensäure.[1])

Ein Boden, welcher selbst nicht eine Kohlensäurequelle birgt, ist auf directe Absorption des Gases aus der Atmosphäre und dessen Zuführung durch die Wurzeln der Pflanzen angewiesen. Indem die Pflanze fortwährend aus der sie umflutenden Luft durch die Blätter aufnimmt und das gelöste Gas sich durch Diffusion über die Pflanze bis zu der Wurzel verbreitet, tritt es hier in die Nahrungsflüssigkeit aus, wenn deren Concentration in Bezug auf Kohlensäure niedriger ist als die Zellflüssigkeit der Wurzeln — im umgekehrten Falle, wenn nämlich die Nahrungsflüssigkeit reicher an Kohlensäure ist als die Zellflüssigkeit, kann selbstverständlich die Kohlensäure nicht aus der Pflanze austreten, hier muß sie im Gegentheil aus der Nahrungsflüssigkeit in die Pflanze übertreten, wie das in jedem Boden, der eine reiche Kohlensäurequelle besitzt, der Fall sein wird. Diejenigen Bodentheilchen, welche die Wurzelzellen begrenzen, werden zunächst dem auflösenden Einflusse der austretenden Kohlensäure ausgesetzt sein; die gelösten Stoffe treten in die Nahrungsflüssigkeit über, sie diffundiren nach allen Seiten weiter und würden sehr bald wieder ausgeschieden werden, wenn nicht von den Wurzelzellen aus auch überallhin Kohlensäure diffundirte. Die beständige Ausscheidung

---

[1]) Schulz-Fleth, Der rationelle Ackerbau, Seite 176.

von Kohlensäure durch die Wurzeln, und die immer thätige directe Absorption des Bodens kann vielleicht der Nahrungsflüssigkeit so viel des Gases zuführen, als zur Lösung und Löslicherhaltung einer gewissen Menge absorbirter Stoffe nöthig ist. Unter diesen Verhältnissen könnte die Aufnahme der absorbirten Stoffe freilich eine unvollständige, eine geringe sein, wenn nicht noch andere lösende Agenzien mitwirken. Ich habe früher schon angedeutet, daß hier vielleicht in der Pflanze gebildete und durch die Wurzeln in den Boden austretende organische Säuren eine nicht unbedeutende Rolle spielen. Sie würden sich auf dieselbe Weise den Bodentheilchen und der Nahrungsflüssigkeit gegenüber verhalten, wie die durch die Wurzelzellen austretende Kohlensäure, sich aber dadurch vortheilhaft von der letzteren unterscheiden, daß sie weit energischer wirken. In die Nahrungsflüssigkeit aufgenommen, diffundiren sie in dieser weiter und lösen auf, wo sie hinkommen; die aufgelösten Stoffe diffundiren ebenfalls in der Nahrungsflüssigkeit und in die Pflanze hinein. Die den organischen Säuren hier zugewiesene Rolle ist freilich noch sehr problematisch; es sprechen aber so viele Thatsachen dafür, daß es wol an der Zeit sein dürfte, durch genaue Untersuchungen die Sache aufzuklären. Auch durch Zuführung gewisser Salze in den Boden können absorbirte Stoffe gelöst werden; doch davon später.

Das Vorgehende führt uns mit einer eigenthümlichen Ansicht Liebig's über die Aufnahme der absorbirten Nahrungsstoffe von der Pflanze zusammen, der wir hier mit einigen Worten gedenken müssen. Liebig hält es für wahrscheinlich, „daß die größte Mehrzahl der Culturpflanzen darauf angewiesen ist, ihre mineralische Nahrung direct von der Ackerkrume zu empfangen, und daß ihr Bestehen gefährdet wird, daß sie verkümmern und absterben, wenn ihnen diese Bestandtheile in einer Lösung zugeführt werden.“ [1]) Es ist dieser Satz durchaus nicht so zu verstehen, als wenn die Nahrungsstoffe in ungelöster Form in die Pflanze eintreten, in ungelöster Form die Membran der Wurzelzellen durchdringen, in welcher Weise irgend ein landwirthschaftliches oder forstwirthschaftliches Journal die Ansicht auffaßte und es sich große Mühe kosten ließ, ein solches Curiosum zu widerlegen. Liebig's Ansicht läßt sich in den folgenden Sätzen zusammenfassen. Die Kohlensäure (und vielleicht auch gewisse Salze) löst die pflanzlichen Nahrungsstoffe auf, wodurch sie nach allen Seiten hin verbreitet werden; eine eigenthümliche Wirkung des Bodens scheidet sie aus dieser Lösung aber wieder aus, und sie befinden sich dann „in einem ähnlichen Zustande, wie etwa Farbstoffe

---

[1]) Liebig, Naturwissenschaftliche Briefe über moderne Landwirthschaft. 3. Brief.

in der Kohle oder Jod in Jodstärkemehl“ und sind zur Aufnahme durch die Wurzeln geeignet, „aber für sich nicht lösbar in Regenwasser“ (in dem capillarisch festgehaltenen Wasser des Bodens). Das in den Wurzelzellen und in den Molecularinterstitien ihrer Membrane enthaltene Wasser nimmt die Nahrungsstoffe direct von den die Zellen berührenden Bodentheilchen auf, wodurch sie in die Pflanze übergeführt sind. Es müssen nach Liebig's Ansicht die sonst in Wasser unlöslichen Nahrungsstoffe in dem Augenblicke ihres Uebergangs in die Pflanze gelöst werden; denn es versteht sich, wie Liebig meint, von selbst, „daß Wasser für den Uebergang derselben unentbehrlich ist“. Dies soll aber eine der Pflanze eigenthümliche Kraft, wenn ich mich so ausdrücken darf, bewerkstelligen: „Aus dem Verhalten der Ackerkrume geht hervor, daß die Pflanze in der Aufnahme ihrer Nahrung selbst eine Rolle spielen muß; als organisches Wesen ist ihre Existenz nicht gänzlich abhängig von äußern Ursachen“. Die Wurzel empfängt also die Nahrungsstoffe direct von den Bodentheilchen; von weiter her können sie ihr nicht zugeführt werden, weil sie nicht in einer löslichen Form im Bodenwasser, in der Nahrungsflüssigkeit vorhanden sind.

Der hier besprochene Vorgang macht aber eine Ernährung der Pflanze factisch unmöglich, wie das leicht einleuchten wird, wenn man die Wirkung der Diffusion im Auge hält. Die Wurzelzellen nehmen die Nahrungsstoffe direct von den Bodentheilchen auf, in die Zelle eingetreten, befinden sie sich aber in einer Lösung, welche mit dem Bodenwasser communicirt; die nun gelösten Nahrungsstoffe diffundiren aus der Zellflüssigkeit in die Nahrungsflüssigkeit, die nichts von ihnen enthält; hier angekommen, werden sie wieder unter der Einwirkung des Bodens unlöslich ausgeschieden, wodurch eine Concentrationsausgleichung völlig unmöglich ist und aus der Zellflüssigkeit die gelösten Stoffe fortwährend in die Nahrungsflüssigkeit zurückgeführt werden. Auf diese Weise würde die Pflanze es nur zu einem Kreislauf der Nahrungsstoffe zwischen Wurzelzellen und Boden bringen; denn es würden dabei die Nahrungsstoffe nicht in die höheren Theile der Pflanze gelangen können, wo doch der eigentliche Sitz der Consumtion und des Stoffwechsels ist; in den Wurzelzellen wird nur der allerkleinste Theil der anorganischen Stoffe consumirt. Es ließe sich dagegen einwenden, daß gleichzeitig mit der Diffusion aus der Wurzelzelle in die Nahrungsflüssigkeit auch eine Diffusion aus den Wurzelzellen weiter in die Pflanze hinein stattfinde. Wenn man aber bedenkt, daß die Diffusion in der letzteren Richtung, weil sie so viele Zellenmembrane zu passiren hat, sehr verlangsamt wird, daß sie in der ersteren Richtung dagegen weit schneller vor sich geht, und daß die Aus-

scheidung der gelösten Stoffe in der Nahrungsflüssigkeit die Diffusion der in die Pflanze hineindiffundirten gelösten Stoffe nach der Nahrungsflüssigkeit wieder zurücklenkt: so läßt sich gar nicht einsehen, wie die Nahrungsstoffe noch höher in die Pflanze hinauf oder tiefer hineindiffundiren können. Diese Annahme führt nur zu Widersprüchen und Liebig würde gewiß nicht dazu gekommen sein, hätten Pflanzenphysiologie und Agricultur die Erscheinungen der Diffusion mehr gewürdigt, als dies bis jetzt geschah. Offenbar kam Liebig zu der Vermuthung, daß den Pflanzen die Nahrungsstoffe nicht „in einer Lösung" zugeführt werden, als es ihm klar wurde, daß die Lösung, welche mit der Wurzel in Berührung ist, nicht als solche von der Pflanze aufgenommen wird, d. h. gelöste Stoffe und Wasser nicht in dem Verhältnisse, in welchen sie sich in der Lösung befinden. „Empfingen die Landpflanzen ihre Nahrung aus einer Lösung, so würden sie von dieser Lösung der Zeit nach und im Verhältniß nur so viel aufnehmen können, als Wasser durch ihre Blätter verdunstet, sie würden nur aufnehmen können, was die Lösung enthält und zuführt." Dieser Ausspruch Liebig's ist der beste Commentar zu seiner Ansicht. Wir wissen nun aber, daß nicht die Verdunstung die gelösten Stoffe in die Pflanze einführt, sondern ihr Concentrationsausgleichungs- oder Gleichgewichtsbestreben und ihre Consumtion.

Die Pflanze kann ihre Nahrungsstoffe nur aus der Nahrungsflüssigkeit aufnehmen; enthält die Flüssigkeit der Wurzelzellen und jeder Zellenparthie, die mit den Wurzelzellen in diffusiongestattendem Zusammenhange steht, einen gelösten Stoff, welcher in der Nahrungsflüssigkeit nicht enthalten ist, so muß dieser aus der Pflanze austreten. Würden die Wurzelzellen die Nahrungsstoffe direct von den Bodentheilchen aufnehmen, so müßten sie nothwendig auch wieder aus der Zellflüssigkeit in die Nahrungsflüssigkeit übertreten, weil sie in dieser nicht gelöst sind und alle gelösten Stoffe das Bestreben haben, sich gleichmäßig über eine zusammenhängende Flüssigkeitsmasse zu verbreiten, wie eine solche die Nahrungsflüssigkeit und Zellflüssigkeit ist. Auch selbst dann würde dieser Fall noch eintreten, wenn man annehmen wollte, die durch die Wurzelzellen aus der Pflanze austretenden Säuren, bewirkten eine directe Aufnahme, indem sie, so wie sie aus der Zelle austreten, an die Bodentheilchen, welche die Zelle berühren, treten, hier die Nahrungsstoffe auflösten, die dann sofort in die Zelle hineindiffundirten; aber auch hier müßten, wie gesagt, die in die Zellflüssigkeit aufgenommenen Stoffe auf die Nahrungsflüssigkeit diffundiren und würden, in der Nahrungsflüssigkeit angelangt, wieder ausgeschieden werden unter dem Einflusse des Bodens.

Die angezogene Vermuthung Liebig's läßt sich also nicht begründen. Die im Boden aus den humosen Substanzen sich entwickelnde, oder aus der Pflanze in den Boden austretende oder vom Boden direct absorbirt werdende Kohlensäure (und die aus der Pflanze austretenden organischen Säuren) löst die ausgeschiedenen Nahrungsstoffe auf und erhält sie gelöst; die gelösten Nahrungsstoffe sind in dem vom Boden capillarisch festgehaltenen Wasser gelöst und diffundiren von hier aus in die Pflanze. Die Zellflüssigkeit in der Pflanze, wenigstens in den ersten Diffusionswegen, im Cambium, und die Nahrungsflüssigkeit stehen in Zusammenhang; die Concentration beider in Bezug auf gelöste Stoffe, insofern diese leicht durch Membrane diffundiren, ist gleich, d. h. die gelösten Stoffe in Zellflüssigkeit und Nahrungsflüssigkeit befinden sich in Gleichgewicht; eine Störung dieses Gleichgewichts an irgend einem Orte durch Ausscheidung oder durch Concentrationserhöhung führt sofort ausgleichende Diffusionsströmungen nach dem Orte der Gleichgewichtsstörung herbei. Die anorganischen Stoffe und viele organische Stoffe, wie Zucker und Säuren, können leicht dem Gleichgewichtsstreben folgen, nicht so die eiweißartigen Stoffe und schleimigen Kohlenhydrate.

Wenn die Kohlensäure ausgeschiedene (absorbirte) Basen, besonders Ammoniak und Kali löst, so werden diese als kohlensaure Salze in der Nahrungsflüssigkeit und der Zellflüssigkeit erscheinen, und es erklärt sich hieraus vielleicht, weshalb die Zellflüssigkeit des Cabiums bei manchen Pflanzen alkalisch reagirt, wie ich in einem früheren Capitel mitgetheilt habe.

Ich habe früher schon angedeutet, daß außer den Säuren auch gewisse Salze lösend auf die vom Boden unlöslich ausgeschiedenen, absorbirten Stoffe wirken, eine Thatsache, welche von Peters experimentell festgestellt wurde. Er behandelte 100 Gramm Erde, theils rohe, theils solche, welche aus einer Chlorkaliumlösung Kali absorbirt hatte, drei Tage lang mit 250 CC einer Auflösung von Chlornatrium, salpetersaurem Natron &c. Die erhaltenen Resultate habe ich in der folgenden Tabelle zusammengestellt. 100 Gramm der mit Chlorkalium behandelten Erde hatten 0,2040 Grm. Kali absorbirt; diese Erde sei mit A, die rohe Erde mit B bezeichnet.[1])

---

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen. Heft 5, Seite 138 u. 139.

Salzlösung	Gehalt der lösenden Flüssigkeit	Aus 100 Gr. A gelöst KO in Grammen	100 Gr. A absorbirten Gramm	Aus 100 Gr. B gelöst KO in Grammen	100 Gr. B absorbirten Gramm
Na Cl	0,3609 Gr. NaO	0,1147	0,0621 NaO	0,0328	0,0270 NaO
NaO, NO_5	0,2808 — —	0,0983	0,0611 —	0,0251	0,0308 —
NH_4 Cl	0,2211 — NH_3	0,1474	0,0598 NH_3	0,0251	0,0495 NH_3
NH_4O, NO_5	0,2165 — —	1,1455	0,0569 —	0,0251	0,0478 —
Ca Cl	0,3182 — CaO	0,1290	0,0508 CaO	0,0270	0,0158 CaO
CaO, NO_5	0,2996 — —	0,1252	0,0616 —	0,0289	0,0196 —
Mg Cl	0,2120 — MgO	0,1281	0,0611 MgO	0,0231	0,0223 MgO
MgO, NO_5	0,2317 — —	0,1224	0,0591 —	0,0211	0,0255 —
Dest. Wasser		0,0434			

Die lösende Wirkung der Natron-, Ammoniak-, Kalk- und Magnesiasalze ist nicht nur bei einem Boden, welcher größere Mengen absorbirten Kali's enthält, sehr bedeutend, sondern auch bei gewöhnlichem rohen Boden. Während von dem absorbirten Kali in Lösung überging (die Zahlen der 3. Columne), wurde aus dem Salze der Lösung eine gewisse Menge Base wieder absorbirt (die Zahlen der 4. Columne); es ist jedoch die Menge des wiedergelösten Kalis nicht im entferntesten äquivalent der Menge des aus der Lösung absorbirten Natrons, Ammoniaks 2c. Dasselbe gilt für die rohe Erde. Welche Processe hier die Wiederauflösung herbeiführen, ist unbekannt; wir wollen nur die nackte Thatsache im Auge behalten, daß Auflösungen von Natronsalzen u. s. w. eine lösende Wirkung auf die absorbirten Basen haben und sie in Lösung zu erhalten vermögen.

Es sind vorzüglich die Kali- und Ammoniaksalze, welche im Boden eine Absorption ihrer Base erleiden; die so ausgeschiedene Base wird aber wieder durch freie Säure gelöst und von der Nahrungsflüssigkeit in Form eines Salzes aufgenommen; die Säuren können aber auch durch Natron- und Kalksalze vertreten werden, vorzüglich durch die salpetersauren und Chlorverbindungen derselben. Die günstige Wirkung des Kochsalzes und Chilisalpeters auf die Vegetation, wenn sie als Dünger auf den Acker gebracht werden, ist vielleicht zum größten Theile der auflösenden Thätigkeit dieser Stoffe zuzuschreiben.

In einem Boden finden sich in der Regel die Kalk- und Magnesiasalze in diffundirbarer Form, und er kann leicht in einen Zustand versetzt werden, daß auch die Kali- und Ammoniaksalze, Phosphorsäure und Kieselsäure

in diese Form übergehen und den Pflanzen leicht zugänglich sind. Man braucht sich also nicht der Befürchtung hinzugeben, daß die Pflanzen in einem Boden, der reich an Nahrungsstoffen ist, leicht verhungern; denn die ausgeschiedenen Nahrungsstoffe gehen sehr leicht wieder in Lösung über. Der Landwirth wird aber die Nothwendigkeit erkennen, seinem Boden in größerer Menge Stoffe zuzuführen, die dort reichlich Kohlensäure entwickeln, wie Stalldünger, überhaupt leicht in Humus übergehende vegetabilische Stoffe; er wird auch erkennen, wie unzweckmäßig es ist, seinen Dünger so lange auf der Miststätte liegen zu lassen, bis er in vollständige Zersetzung übergegangen und ein großer Theil Kohlensäure für seinen Acker verloren ist.

Ob auch die Humussäuren eine lösende Wirkung auf absorbirte pflanzliche Nahrungsmittel besitzen, wissen wir nicht; wäre dies der Fall, so würden sie in dem von Wasser vollständig durchtränkten Boden von Bedeutung sein; denn hier ist grade ihre Heimath, hier können die abgelebten vegetabilischen Substanzen wegen Mangels an Sauerstoff (atmosphärischer Luft) nicht in Kohlensäure zersetzt werden, hier verwandeln sie sich vorwiegend in Humussäuren. Uebrigens ist ein solcher Boden meist reich an pflanzlichen Nahrungsstoffen, oft sogar damit so weit gesättigt, daß er nichts mehr zu absorbiren vermag.

Die Concentration der Nahrungsflüssigkeit ist für uns noch eine vollständige terra incognita; so viel steht indeß fest, daß sie vielfach hinsichtlich ihrer Größe unterschätzt worden ist, besonders seitdem Liebig glaubte, nach dem Gehalte der Drainwässer an gelösten Stoffen auf den Gehalt der Nahrungsflüssigkeit schließen zu dürfen. Dies ist indeß nicht zulässig, wie aus dem Folgenden hervorgehen wird. Die Drainröhren liegen gewöhnlich in dem Untergrunde des Bodens und nehmen Wasser aus diesem auf. Das Wasser im Untergrunde steht mit dem Wasser der obern Schichten — der Ackerkrume — in Zusammenhang. Der Ackerkrume werden die Nahrungsstoffe durch Düngung, durch absterbende Pflanzentheile u. s. w. zugeführt; hier ist auch der Ort, wo die Kohlensäure entwickelt wird und aus der Pflanze vorwiegend austritt, wo überhaupt die lösenden Agenzien wirken; in der obersten Schicht, in der Ackerkrume also, nimmt die Nahrungsflüssigkeit die gelösten Stoffe auf; von hier aus diffundiren sie auch auf das Wasser des Untergrundes, wo sie dann wieder unlöslich ausgeschieden werden, wenn nicht gleichzeitig auch Kohlensäure oder andere auflösende Stoffe mit hinunter diffundiren. Dies scheint nun in gar vielen Fällen nicht stattzufinden, weil die lösenden Stoffe wahrscheinlich schon in den oberen Schichten so weit

consumirt werden, daß nur kleine Mengen von ihnen in die unteren Schichten gelangen können. Wenn nun auch das Drainwasser arm an Kali, Ammoniak und Phosphorsäure ist, so geht daraus noch nicht hervor, daß auch die Nahrungsflüssigkeit arm an diesen Stoffen sein muß. Zudem haben die Drainwasseranalysen (von Way und Krocker), an welche Liebig seine Betrachtungen knüpft, in Bezug auf Kali und Phosphorsäure die kleinsten Zahlen mit, welche gefunden wurden; es sind andere Drainwasseranalysen bekannt, welche, besonders in Bezug auf Kali, weit höhere Zahlen gaben — und wenn man oft durch Behandlung des Bodens selbst mit Chlorwasserstoffsäure kaum Spuren von Phosphorsäure erhält, so hat es gewiß nichts Auffallendes, in manchen Drainwässern nur Spuren zu finden.

Wenden wir uns nun zu einigen Untersuchungen, welche uns wenigstens einigermaßen über den Gehalt der Bodenflüssigkeit an anorganischen Stoffen belehren. Es sind dies Arbeiten von Eichhorn und Wunder.[1]) Eichhorn ließ lufttrockene, längere Zeit nicht gedüngte Erde aus dem Wirthschaftsgarten der Poppelsdorfer landwirthschaftlichen Lehranstalt so viel Wasser aufnehmen, als sie capillarisch festzuhalten vermochte. Nachdem das capillarisch gebundene Wasser 10 Tage lang bei gewöhnlicher Temperatur mit seiner lösenden Kraft auf die Bodentheilchen eingewirkt hatte, wurde so viel Wasser zugesetzt, als die Erde bereits enthielt, um die Lösung aus der Erde zu gewinnen, dann Erde und Wasser geschüttelt und das Wasser abfiltrirt. Die durch das capillarisch festgehaltene Wasser gelösten Bestandtheile waren nun auf die doppelte Menge Wasser vertheilt und wurden darin bestimmt. Eichhorn fand in 100,000 Theilen seiner Lösung

Kieselsäure	2,40
Phosphorsäure	1,55
Kalk	6,40
Kali	5,77

u. s. w.

Die Hälfte des Wassers in dieser Lösung hatte indessen nur dazu gedient, um die im feuchten Boden enthaltene Lösung herauszuspülen. Die Zahlen geben also den Gehalt in 50,000 Theilen der ursprünglich im Boden enthalten gewesenen Lösung an. Von 100 Gr. des capillarisch gebundenen Wassers waren demnach in der kurzen Zeit von 10 Tagen aufgelöst worden

---

[1]) Landwirthsch. Versuchsstationen, Heft 4, Seite 104.

Kieselsäure	0,0048	Gramm
Phosphorsäure	0,0031	—
Kalk	0,0128	—
Kali	0,0115	—

Auch Wunder ließ bei seinem Versuche die Erde so viel Wasser aufnehmen, als sie durch Capillarität festzuhalten vermochte; nachdem das Wasser 4 Wochen lang auf die Erde eingewirkt hatte, entzog er es vermittelst einer Luftpumpe den Capillarräumen und bestimmte die aufgelösten Stoffe. Er fand in der Lösung

	in 100,000 Theilen	in 100 Theilen also
Kieselsäure	2,57	0,0026
Phosphorsäure	Spuren	
Kalk	8,36	0,0084
Magnesia	3,74	0,0037
Kali	0,75	0,0008
Natron	3,04	0,0030

Die Zahlen Eichhorn's und Wunder's weichen zwar nicht unbedeutend von einander ab, besonders in Bezug auf Kali und Phosphorsäure; sie bezeugen uns indeß, daß die Concentration der Nahrungsflüssigkeit nicht so ganz niedrig ist, wie wir anzunehmen geneigt waren, und daß selbst bei bloßer Gegenwart von Wasser Kali und Phosphorsäure, die leicht absorbirt werdenden Stoffe, gelöst werden und in Lösung erhalten werden können. Wenn aber schon reines Wasser nicht unbedeutende Mengen aufnimmt, wie viel mehr wird dann Wasser aufnehmen, welches lösende Agenzien, Kohlensäure u. s. w. enthält? Unter dem Einflusse lösender Stoffe würde die Nahrungsflüssigkeit noch weit höher concentrirt werden, wie dies auch Eichhorn bei seinem Boden, wenn er dem Wasser 1 % kohlensaures Ammoniak oder Kochsalz zusetzte, bestätigt fand.

Die Versuche Eichhorn's und Wunder's sind ganz geeignet, uns ein Bild von der Nahrungsflüssigkeit zu geben; denn das bei ihnen wirkende Wasser war nur capillarisch angezogenes, welches, die pflanzlichen Nahrungsstoffe gelöst enthaltend, von mir Nahrungsflüssigkeit genannt wurde. Weitere Versuche dieser Art werden zeigen, daß die Nahrungsflüssigkeit eines Bodens, der in Fülle leicht lösliche Nahrungsstoffe birgt, alle zum Leben der Pflanze nöthigen anorganischen Stoffe gelöst enthält, besonders wenn ihm kali-, ammoniak- und phosphorsäurelösende Stoffe in reichlicher Menge zugeführt werden, und daß die Pflanze sie aus der Nahrungsflüssigkeit aufzunehmen vermag.

Auch die geognostischen Verhältnisse eines Bodens müssen von entschiedenem Einflusse auf die Bewegung der Nahrungsflüssigkeit und die

Concentration derselben sein. Soweit wie in einem Boden das Wasser in freiem capillarem Zusammenhange steht, soweit erstreckt sich auch die Diffusion, soweit können sich in der Nahrungsflüssigkeit gelöste Stoffe verbreiten. Ich habe vorhin schon bemerkt, daß in einem mit Vegetation bedeckten Boden, besonders in Ackerboden, die obere Schicht es ist, welcher die rohen Nahrungsstoffe, der Dünger u. s. w. zugeführt werden, daß hier auch der Ort ist, wo die rohen Nahrungsstoffe in einen assimilirbaren Zustand übergeführt und gelöst werden; hier also nimmt die Nahrungsflüssigkeit die Stoffe auf, von hieraus können sie sich aber auch in die tieferliegenden Schichten bewegen. Man glaube aber nicht, daß in dem capillarem Wasser des Bodens die Difussion so schnell von Statten gehe, wie in freiem Wasser; wenn an irgend einem Orte im Boden ein Stoff aus seiner Lösung ausgeschieden wird und dadurch eine Diffussionsausgleichung erfolgt, so ist zur Ausgleichung eine bedeutend längere Zeit nöthig, als wenn solche Diffussionsbewegungen in reinem Wasser eintreten. (Man siehe das Capitel: die Diffussion im Boden.) Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man auf den Boden eines Cylinders eine dünne Schicht irgend eines löslichen Salzes bringt und darauf den Cylinder mit Erde anfüllt (einem Thon-Sandgemenge z. B.), welche nur in ihren capillaren Zwischenräumen Wasser enthält; es dauert längere Zeit, ehe das Salz an die Oberfläche gelangt ist, und dort nachgewiesen werden kann, wogegen es in einem vollständig getränkten Boden, in welchem also alle, auch die nichtcapillaren Räume, mit Wasser erfüllt sind, bei gleicher Höhe und bei gleichem Volumgewichte der Erde in weit kürzerer Zeit schon hinaufdiffundirt ist. Ein Boden, der tiefgründig und dabei locker ist, und in den kein anderes Wasser, als das von atmosphärischen Niederschlägen herstammende, gelangt, führt das Wasser aus seiner oberen Schicht durch Capillarität in die unteren Schichten hinab; gleichzeitig mit dem Wasser diffundiren auch die gelösten Stoffe in die Tiefe. Ein Theil der Stoffe, nämlich diejenigen, welche durch Kohlensäure oder andere Stoffe in Lösung erhalten werden, werden sich aber bald schon auf diesem Wege ausscheiden, wenn nicht gleichzeitig auch eine gewisse Menge des sie gelöst erhaltenden Stoffes mit hinunter diffundirt; einem anderen Theile der gelösten Stoffe stehen weniger Hindernisse im Wege, sie können sich über das Wasser, soweit dies in capillarem Zusammenhange steht, verbreiten. Deshalb sehen wir nun in den Drainwässern grade die vom Boden absorbirtwerdenden, in ihm unlöslich ausgeschiedenwerdenden Stoffe zurücktreten, während die gelöstbleibenden, wie Kalk, Natron, Schwefelsäure, Chlor, in ihnen vorherrschend vertreten sind. Verdunstet an der Oberfläche des Bodens oder

aus seiner oberen Schicht durch die Pflanzen das Wasser, so hebt die Capillarität es aus den unteren Schichten wieder in die obere hinauf, mit ihm kommen dann auch wieder die gelösten Stoffe in die Höhe und in jene Schicht, welche die Wurzeln birgt. Die in der Tiefe ausgeschiedenen Stoffe werden dort verbleiben und nur unter günstigen Verhältnissen wieder in den Kreislauf der pflanzlichen Nahrungsstoffe eintreten. Hier nun sind vorzugsweise jene Pflanzen von besonderer Bedeutung, welche in reichlicher Menge Wurzeln in die tiefen Regionen des Bodens hinabsenden, wie Klee und Luzerne. Nicht nur, daß diese Pflanzen durch ihre Wurzeln Säuren dort ausscheiden, wodurch die ausgeschiedenen Stoffe vielleicht von Neuem in Lösung versetzt werden, sondern es häuft sich dort auch durch das beständige Absterben von Wurzeln Humus an, der, in Kohlensäure sich verwandelnd, zur Lösung der ausgeschiedenen Stoffe beiträgt und Veranlassung zur Diffusion derselben in die höheren Schichten wird. Die ausgezeichnete Wirkung der Luzerne, einer Pflanze, die ein mächtiges Wurzelwerk in die Tiefe des Bodens hinabsendet, ist bekannt; wir wissen aber auch, daß die Wirkung erst dann recht auffallend hervortritt, wenn das Luzernenfeld längere Zeit (6—7 Jahre) bestehen bleibt, wenn also im Boden die humosen Stoffe sich in reichster Menge anhäufen konnten. Wir nehmen dem Boden des Luzernenfeldes Jahr auf Jahr als Grünfutter oder Heu bedeutende Quantitäten anorganischer Stoffe, besonders auch Kali und Phosphorsäure, wir ersetzen sie ihm nicht durch Düngung, und doch hinterläßt die Luzerne nach sechs bis sieben Jahren einen kräftigen, selbst ohne Düngung reiche Ernten liefernden, also nahrungsstoffreichen Boden. Ohne Zweifel sind es die absterbenden, in Humus und Kohlensäure übergehenden Wurzeln, ganz besonders die der tieferen Bodenschichten, welche diese günstige Wirkung hervorrufen, welche die unten ausgeschiedenen Nahrungsstoffe lösen und sie der Diffusion nach oben zugänglich machen. Während das Luzernefeld umgepflügt wird und andere Saaten trägt, dauern diese Wirkungen aber noch fort und kommen eben jenen Pflanzen zu gute, deren Wurzeln sich mehr in den oberflächlichen Schichten des Bodens ausbreiten. Eine gleiche Wirkung wird auch eine starke Zufuhr vegetabilischer, Kohlensäure erzeugender Düngstoffe haben — Stalldünger —, sowie eine reichliche Düngung mit mineralischen, lösend wirkenden Stoffen, wie Kochsalz, Chilisalpeter u. s. w. Bei den ersteren kann in der Ackerkrume soviel Kohlensäure erzeugt werden, daß sie in die unteren Schichten hinab diffundirt; die letzteren, von der Nahrungsflüssigkeit aufgelöst, nehmen denselben Weg, dürften sich aber höchstwahrscheinlich und durch leicht zu erklärende Gründe durch eine schnelle

Wirkung auszeichnen. Die freie Vegetation, der Wald z. B. besorgt dieses Geschäft selbst, durch Blattfall, Absterben der Pflanzen u. s. w.

Ein tiefgründiger Boden führt also beständig einen Theil der Nahrungsstoffe des Düngers aus der wurzelbergenden Schicht, aus der Ackerkrume, fort, der jedoch für die Vegetation, für die Cultur nicht verloren ist, da den Landwirthen Mittel zu Gebote stehen, die in tieferen Schichten ausgeschiedenen Nahrungsstoffe für seine nicht tief wurzelnden Culturpflanzen nutzbar zu machen. Uebrigens scheint es mir, daß wir mit dem Tiefgange der Wurzeln, besonders unserer Culturpflanzen, wenig bekannt sind und denselben unterschätzen. „Sicherlich aber gehen die Wurzeln viel tiefer, als man anzunehmen gewohnt ist, da man in der Regel die zarten oft fadenförmigen Saugwurzeln gar nicht beachtet und grade diese häufig eine bedeutende Länge erreichen, und selbst bei krautartigen Gewächsen, z. B. bei dem Getreide, mehrere Fuß lang werden. Auch die Pfahlwurzel der Runkelrübe endigt als solcher Wurzelfaden, der seitlich lange, noch zartere Fadenwurzeln ausschickt, und erreicht durch ihn eine Tiefe von 10 Fuß und darüber.“ (Schacht.[1]) Erdeinschnitte bei Eisenbahnanlagen und drgl. geben uns oft genug Gelegenheit, uns davon zu überzeugen; bei genauer Untersuchung, z. B. mit der Loupe, zeigt sich die Erde auch tiefer Schichten des Ackerbodens mit zahlreichen, oft unzähligen, dicht gedrängten Wurzelfäden durchsetzt und von ebensovielen größeren und kleineren Kanälen durchzogen, welche einst auch Wurzeln, die später abstarben, zum Aufenthalt dienten.

Einem Boden, einer Ackerkrume auf undurchlassendem Untergrunde, wie Felsen, Schichten plastischen Thons, festen Sandes oder Kieses u. s. w. werden weniger die pflanzlichen Nahrungsstoffe entführt; in der Regel ist ein solcher Boden aber naß, alle seine Zwischenräume sind mit Wasser erfüllt, welches keinen Abfluß hat, dies verhindert den Luftzutritt, die Verwesung der humosen Stoffe, die Kohlensäurebildung und in Folge dessen die Lösung der ausgeschiedenen Nahrungsstoffe; der Boden ist in einem solchen Zustande der Vegetation nicht günstig. Bei einem Boden dieser Art, mit Pflanzen bestellt, welche sich einem nassen Boden accomodiren können, würden vielleicht die mineralischen Lösungsmittel einen günstigen Erfolg nicht versagen. Der Felsboden, sogenannter Primitivboden, ist aber oft ausgezeichnet fruchtbar, besonders wenn die Bodenkrume nicht allzudünn ist, und, wie dies auch in der Regel der Fall ist, nicht an Nässe leidet.

[1]) Schacht, der Baum (1860) Seite 177.

Die obenerwähnten, der Vegetation ungünstigen Verhältnisse zeigt jeder Boden, dessen Zwischenräume mit stagnirendem Wasser erfüllt sind; ist er dabei tiefgründig, oder wird ihm das Wasser aus einer wasserreichen, quelligen Schicht zugeführt, so diffundirt ein großer Theil der Nahrungsstoffe in die Tiefe, die, hier ausgeschieden, nicht so leicht wieder in die obere Schicht eintreten und der Vegetation zu gute kommen, weil die Kohlensäureentwicklung aus Mangel an Sauerstoff eine beschränkte ist. Der Landwirth nennt einen solchen Boden hungrig, weil er fortwährend der Düngerzufuhr bedarf, um einigermaßen gute Ernten zu geben. Vielleicht würde, wie oben schon bemerkt, die Düngung mit mineralischen Lösungsmitteln, wie Kochsalz und Chilisalpeter, von Vortheil sein, indem diese leicht in die tieferen Schichten hinabdringen, die ausgeschiedenen Nahrungsstoffe lösen und in die obere Schicht diffundiren machen. In den tieferen Schichten eines solchen Bodens häufen sich demnach große Mengen pflanzlicher Nahrungsstoffe an, und es erklärt sich daraus die oft so auffallend günstige Wirkung der Drainage, die das Wasser aus dem Boden ableitet und dasselbe nur den capillaren Zwischenräumen beläßt; jetzt ist eine energische Zersetzung der humosen Stoffe möglich und die Kohlensäure führt nun die unten aufgespeicherten Nahrungsstoffe nach oben, wo sie von den Pflanzenwurzeln aufgenommen werden. Ein drainirter Boden liefert oft viele Jahre hintereinander bei nur mäßiger Düngung die reichsten Ernten. Dünger, welcher viele Kohlensäure erzeugt, würde hier der beste sein.

Am schlechtesten wirkt ein thonreicher Boden auf die Vegetation; im wasserreichen, mehr oder weniger plastischen Zustande, setzt er nicht nur dem Eindringen der Wurzeln Hindernisse entgegen, sondern hindert auch die Bewegungen der gelösten Stoffe in der Nahrungsflüssigkeit, indem die Thontheilchen adhäriren und die Zwischenräume von einander abschließen; trocknet er aus, so wird er hart und fest und ist dann ebensowenig im Stande, den Forderungen des pflanzlichen Lebens zu entsprechen.

Wie sich die Beschaffenheit des Bodens zu der Ausbildung des Wurzelwerks verhält, ist bis jetzt fast gar nicht der Gegenstand von Untersuchungen gewesen; indeß läßt sich leicht annehmen, daß ein Boden, je bindiger er ist, um so mehr die Verbreitung der Wurzeln hemmt. Die feinen, sich stets verlängernden Würzelchen sind nicht im Stande, die Bodentheilchen zu verdrängen, sie wachsen nur in den Zwischenräumen weiter; je mehr die Bodentheilchen nun adhäriren, um so schlechter können die Würzelchen vordringen. Von guter Wirkung ist in einem solchen Boden ein nicht verrotteter Stalldünger, wo also die Bestandtheile des

Düngmaterials, also das Stroh u. s. w. ihre Form noch behalten haben; kommt ein solcher Dünger in den Boden, so verwesen die Düngertheile und lassen Kanäle und dergleichen Zwischenräume zurück, welche das Fortwachsen der Wurzeln wesentlich fördern — man sieht ja oft, daß in einem, von einem verwesten Strohhalme gebildeten Gange ein Wurzelfaden entlang wächst, der dann nach allen Seiten Nebenwürzelchen aussendet. In einem feuchten Sandboden finden die Wurzeln die größte Verbreitung.

Erzieht man Weizen vom Keimling an in reinem (destillirten) Wasser, so treibt er ein ausgedehntes Wurzelwerk, lange, mit Wurzelhaaren dicht besetzte Wurzelfäden dringen in das Wasser ein; in einem Boden aber, oder in einer Lösung verschiedener Salze, die dem Weizen als Nahrungsmittellösung zu dienen vermag, bleiben die Wurzelfäden viel kürzer, anscheinend ist das Wurzelwerk an Masse viel geringer, als jenes in destillirtem Wasser erzogene. Beobachten wir solche Thatsachen, so sollte man sich fast zum Glauben verleiten lassen, daß die Wurzel der Nahrung nachgehe, daß sie gleichsam ihre Nahrung aufsuche, lange Wurzelfäden treibe, um an einen Ort zu gelangen, wo sie eine reiche Nahrungsquelle finde. Es ist diese Ansicht auch wirklich eine weit verbreitete, aber sie ist falsch; die vorhin erwähnten Erscheinungen bei dem Weizen sind nur Schein, und wollten wir aus diesem Scheine die genannten Folgerungen ziehen, so hätten wir uns arg hinter's Licht führen lassen. Verfolgen wir einmal die Entwickelung der Wurzel, vorzüglich aber der Nebenwurzeln, da auf deren Entwickelung ja die Ausbreitung des Wurzelwerkes beruht. An gewissen Stellen des Cambium- oder Verdickungsringes der Haupt- oder Pfahlwurzel einer dikotyledonen Pflanze, da, wo ihn Gefäßbündel durchziehen, tritt durch Zellenvermehrung eine seitliche, warzenförmige Erhebung des Cambiums ein, die, sich immer mehr ausdehnend, in das Rindenparenchym eindringt, die Zellen desselben verdrängt, und endlich die Rinde durchbricht, um sich als neue Nebenwurzel zu gestalten. Cambiumring und Gefäßbündel setzen sich in die junge Wurzel fort, und durch die zellenbildende Thätigkeit des Cambiums und des Urparenchyms an der Spitze der Wurzel, streckt sich die Wurzel immer mehr aus, bildet an den jüngsten Theilen, an der Wurzelspitze, Wurzelhaare und die stark permeablen Epiblemazellen; beide aber werden bald schon impermeabel und sterben ab, während dessen jedoch beständig neue an der sich verlängernden Spitze der Wurzel entstehen, welche die absterbenden ersetzen. Zellenvermehrung ist also die Ursache der Wurzelausbreitung; Zellen vermögen sich indeß nur da zu vermehren, wo sich zellenerzeugende organische Stoffe finden, deren Bildung weiter wieder von anorganischen Stoffen

abhängt. Es wäre demnach eine Ungereimtheit, zu behaupten, daß sich grade dort die Wurzel am stärksten ausbreite, wo sie die wenigste Nahrung findet, und zwar deshalb sich hier am stärksten entwickle, damit der Pflanze durch Oberflächenvergrößerung der Wurzel ersetzt werde, was ihr durch die Armuth des Bodens abgeht. Es ließe sich nun wol noch einwenden, daß die oberirdischen Pflanzentheile der Wurzel die zellenerzeugenden Stoffe lieferten; indeß müßten die anorganischen Stoffe, ohne welche die Bildung jener nicht möglich ist, doch erst durch die Wurzel aus dem Boden dorthin gelangt sein, was aber ja eben nicht geschieht, weil der Boden arm ist. Die Wurzel ist abhängig vom Boden; wo der Boden reich an Nahrung ist, kann die Zellenvermehrung und die wirkliche (nicht scheinbare) Ausbreitung der Wurzel in einem höheren Grade stattfinden als da, wo der Boden arm ist. Die Wurzeln „entwickeln sich aber überall da am üppigsten, wo ihnen der Boden die zuträglichste Nahrung gewährt und bleiben zurück, wo diese mangelt.“ (Schacht[1]).

Kehren wir nun zu dem vorhin erwähnten Versuche mit Weizen zurück. Aus dem keimenden Samen entwickeln sich die Wurzeln, die dort, in dem Samen, aufgespeicherten Stoffe setzen sich um in Zellen; solange der Same noch Nahrung liefert, kann sich die Wurzel in dem destillirten Wasser weiter entwickeln; ist diese Quelle versiegt, so stirbt bald die ganze Pflanze ab. Die weit größere Ausbreitung des Wurzelwerkes in dem destillirten Wasser als in der Salzlösung ist die einfache Folge einer größeren Ausdehnung der Wurzelzellen. Hängt man eine allseitig geschlossene und mit Eiweißlösung gefüllte Collodiummembranröhre, wie ich sie gewöhnlich zu meinen Versuchen benutzte, in destillirtes Wasser, so wird sie sehr gespannt und sie würde sich stark ausdehnen, wenn es die Elasticität der Membran gestattete; das Eiweiß führt Wasser in reichlichster Menge in die Röhre ein. Wird dieselbe Membranröhre, mit einer gleichconcentrirten Eiweißlösung, in eine mäßig concentrirte Salzlösung gebracht, so wird die Spannung nicht so groß wie vorhin; in diesem Falle geht Wasser zu dem Eiweiß in der Röhre, aber auch Wasser aus der Röhre zu der Salzlösung außerhalb; bei bestimmten Concentrationen außerhalb und innerhalb wird das Volum der Röhre und die Spannung unverändert bleiben, d. h. es diffundirt so viel Wasser hinein als auch heraus. Dasselbe gilt von Zellen und von den Wurzelzellen des Weizens in destillirtem Wasser und in der Salzlösung; in ersterem dehnen sich die Zellen weit mehr aus, geben der Wurzel dadurch eine größere Ausbreitung, als dies in der Salzlösung der Fall ist. Ich

---

[1]) Schacht, der Baum. Seite 163.

habe früher schon einmal gezeigt, daß die Zellen der Wasserwurzeln des Weizens einen, besonders an proteinartigen Stoffen armen, verdünnten Inhalt haben. In einem feuchten und dabei nahrungsstoffarmen Sandboden sieht man auch oft Pflanzen lange Wurzeln treiben, eine Erscheinung, die zum größten Theile in der starken Ausdehnung der Zellen beruht. Solche Wurzeln sind aber einfache, lange, unverzweigte oder doch wenig verzweigte Fäden. Aus Mangel an Nahrungsstoffen können sich in dem Cambium der Wurzel nicht so viele organische, zellenerzeugende Stoffe anhäufen, daß seitlich austretende Zellenanhäufungen, die Grundlagen der Nebenwurzeln, sich zu bilden vermögen; die Zellenvermehrung und das Wachsthum der Wurzel beschränkt sich nur auf die Spitze des Wurzelfadens. Vergleicht man damit aber das Wurzelwerk einer in nahrungsstoffreichem Boden vegetirenden Pflanze, so sieht man eine fortwährende Verzweigung der Wurzel, jede Nebenwurzel wird die Mutter neuer Nebenwurzeln. Nun wissen wir aber, daß die Diffusion nur an den jüngsten Theilen der Wurzeln möglich ist, an der Wurzel- oder Nebenwurzelspitze; es muß also die Aufnahme von Stoffen aus der Nahrungsflüssigkeit um so größer sein, als die Wurzel mehr Nebenwurzeln hat und jemehr sie fortwährend neue bildet. Ein fußlanger, unverzweigter Wurzelfaden besitzt nur einen einzigen Punkt, wo die Auf nahme möglich ist, die Wurzelspitze, der übrige Theil hat seine Aufnahmefähigkeit ganz oder doch zum größten Theile verloren; ein fußlanger Wurzelfaden hingegen, welcher zwanzig Nebenwürzelchen aussendet, besitzt einundzwanzig thätige Aufnahmeorgane, in quantitativer Beziehung muß bei diesem die Aufnahme 21 Mal so stark sein als bei jenem unverzweigten Wurzelfaden. Will man die Wurzeloberflächen zweier Pflanzen mit einander vergleichen in Bezug auf ihr Vermögen, der Pflanze Nahrungsstoffe zuzuführen, so hat man also seine Aufmerksamkeit auf die wirklich permeablen Parthien der Oberfläche zu richten und nicht auf die ganze Oberfläche. Sollte nun auch in einem feuchten nahrungsstoffarmen Sandboden die Wurzel eine größere Oberflächenausdehnung haben, so ist doch in den wenig verzweigten Wurzelfäden die permeable Oberfläche gering, sie ist hier bedeutend kleiner als bei einer andern Wurzel, welche mit jener zwar eine gleichgroße Gesammtoberfläche besitzt, die aber durch stetige Fortbildung von Nebenwurzeln sich stark verzweigt und die Organe der Aufnahme in größerer Zahl fortwährend verjüngt. Es ist, wie man sieht, unrichtig zu behaupten, daß eine Pflanze durch Oberflächenvergrößerung ihrer Wurzel ersetze, was ihr durch Nahrungsarmuth des Bodens abgeht. Das Aufsuchen der Nahrung von Seiten der Wurzel ist ebenso eine Illusion; die Wurzel ist ein Product der Nahrungs-

flüssigkeit; denn aus den Stoffen der letzteren bildet sie sich; eine reiche Nahrungsflüssigkeit erzeugt üppige Wurzeln, sie bedingt auch eine große Verbreitung und Ausdehnung derselben. Uebrigens wird aber auch in der Regel in einem nahrungsstoffreichen Boden das Wurzelwerk stärker entwickelt als in einem nahrungsstoffarmen. Ich will hier eines Versuchs mit Weizen erwähnen, welchen ich in der Absicht angestellt habe, um die Einwirkung des Nahrungsstoffgehaltes des Bodens auf die Wurzelentwicklung zu studiren. Drei große Blumentöpfe wurden mit einem sandigen Lettenboden gefüllt, wovon der erste ungedüngt blieb, der Boden in dem zweiten und dritten aber mit Guano vermischt worden war. In jeden der Blumentöpfe legte ich am 4. April (1860), und zwar in gleiche Tiefe, drei Weizenkörner, wovon die des dritten Topfes mit einem Gemenge von Erde und Guano incrustirt worden waren. Die Töpfe standen in einem Garten und den Witterungs- und Lichtverhältnissen gleichmäßig ausgesetzt; sie wurden zuweilen mit Wasser begossen, so aber, daß auf jeden der Töpfe eine gleiche Menge Wasser kam. Im ersten (I.) und dritten (III.) Topfe kamen alle drei Körner auf, im zweiten (II.) Topfe jedoch nur Eine Pflanze. Anfang Juni ließ ich die Erde in den Töpfen austrocknen, nahm sie mit den Pflanzen heraus, weichte die Erde auf und spülte sie durch langsames Aufpumpen von Wasser von den Wurzeln ab. Die Erde mit den Pflanzen in einem Siebe liegend, ging diese Operation mit der ausgezeichnetsten Erhaltung des Wurzelwerks von Statten.

I. Pflanze A hatte 2 schmächtige Halme gebildet; aus dem ersten Wurzelknoten hatten sich 4 (also die ersten aus dem Keimpflänzchen hervorgegangenen Nebenwurzeln), aus dem Keimlager des zweiten Wurzelknotens 2 schmächtige, aber vielverzweigte Wurzelfäden entwickelt. Pflanze B 1 Halm, die Wurzeln wie bei A. Pflanze C 1 Halm, 3 Wurzelfäden aus dem ersten, 2 aus dem zweiten Wurzelknoten. In dem ungedüngten Boden, der von Hause aus schon recht arm war, blieben die Pflanzen, also Halm mitsammt der Wurzel, kümmerlich.

II. Die Pflanze in Wurzeln, Halm und Blättern bedeutend kräftiger wie bei I. Es war in diesem Topfe jedoch nur eine Pflanze aufgekommen; Ein Samen hat gar nicht gekeimt, die zweite Pflanze war bald nach ihrem Hervortreten zu Grunde gegangen. Die aufgekommene Pflanze hatte 3 kräftige Halme; aus dem ersten Knoten waren 4 und aus dem zweiten Knoten 6 starke und vielverzweigte, außerdem noch 4 dünnere, schmächtige, aber verzweigte Wurzelfäden hervorgetreten. Die Guanodüngung hatte hier also einen ausgezeichneten Erfolg gehabt. Die (grüne)

Pflanzenmässe dieser Einen Pflanze war sechs Mal so groß als die der drei Pflanzen aus I. zusammen.

III. Alle drei Pflanzen waren üppig und stark. Pflanze A hatte 9 größere und 7 kleinere noch unentwickeltere Halme gebildet und aus dem ersten Wurzelknoten 4 dünne verzweigte, aus dem zweiten 15 starke vielverzweigte Wurzelfäden entwickelt. Pflanze B hatte 19 Halme; den ersten Wurzelknoten konnte ich nicht mehr auffinden, aus dem zweiten waren 14 starke vielverzweigte, 4 schmächtigere verzweigte und mehrere unverzweigte Wurzelfäden hervorgetreten. Bei Pflanze C zählte ich 17 Halme und an dem ersten Wurzelknoten 6 schmächtige und verzweigte, an dem zweiten 16 meist kräftige und vielverzweigte und mehrere unverzweigte Wurzelfäden. Das mächtigste Wurzelwerk und die meiste Pflanzenmasse entwickelte sich mithin aus jenen Samen, welche mit dem Erd-Guano-Gemenge incrustirt worden waren; von welcher Bedeutung diese Thatsache für Landwirthschaft und Gärtnerei ist, brauch' ich wol kaum hervorzuheben, glaube aber doch, etwas näher darauf eingehen zu müssen.

Die Incrustationsmasse, der Samendünger, zersetzt sich, ihre Stoffe werden in assimilirbare Nahrungsmittel umgewandelt, welche in die Nahrungsflüssigkeit im Umkreise des Embryo übergehen und diesem in reichlichster Menge Nahrungsstoffe liefern. Weil die rohen Nahrungsstoffe aber nur allmählig in eine assimilirbare Form übergehen, werden dieselben der jungen Pflanze bis zu einem gewissen Grade der Entwicklung beständig reichlich dargeboten sein. Hat die Keimpflanze ihre ersten Wurzeln entwickelt, so treffen diese gleich schon auf eine reiche Nahrungsflüssigkeit, welche ihre Stoffe in das Pflänzchen diffundiren läßt und hier in weitrer Folge eine lebhafte Zellenvermehrung veranlaßt. Zuerst kommen die Nahrungsstoffe der Wurzel zu gute, diese entwickelt sich kräftig und schafft der Pflanze durch starke Verzweigung der Wurzel viele Aufnahmeorgane. Bei dem Weizen, um bei einer bekannten Pflanze zu bleiben, werden in reicher Menge dem Keimlager des Halmes oder zweiten Wurzelknotens, aus welchem sich nach oben Halme, nach unten Wurzeln entwickeln, die Nahrungsstoffe zugeführt; eine lebhafte Zellenbildungsthätigkeit in demselben erzeugt die Anlage zu den Halmen und Wurzeln, die sich dann später mehr oder weniger entwickeln. Die vor und nach in die Nahrungsflüssigkeit aufgenommenen Stoffe des Samendüngers verbreiten sich langsam von dem Samen aus in dem Boden weiter, gleichzeitig folgen ihnen aber auch die Wurzeln, und wenn die lösbaren Stoffe des Samendüngers ganz aufgelöst sind und sich in der Nahrungsflüssigkeit ausgeglichen, d. h. durch Diffusion sich gleichmäßig verbreitet haben, so hat das Wurzelwerk eine Ausbreitung erlangt, welche eine lebhafte

Aufnahme von Nahrungsstoffen und eine kräftige Entwicklung der ganzen Pflanze möglich macht, vorausgesetzt daß der Boden reich ist. Bei dem Weizen entwickeln sich später in dem reichen Boden alle angelegten Halme, in einem armen Boden dagegen bleiben die meisten zurück. Ganz ähnlich verhält sich die Sache auch bei anderen Pflanzen; überall, wo durch Samendünger ein üppiges Wurzelwerk entwickelt wurde, können den oberirdischen Pflanzentheilen die Nahrungsstoffe in reichlicher Menge zugeführt werden. Bei Samen mit kleinem Endosperm oder kleinen Kotylebonen, die also wenig Nahrungsstoffe zur Ausbildung des jungen Pflänzchens aufgespeichert haben, wo die jungen Würzelchen gleich schon auf den Boden angewiesen sind, dürfte die Samenincrustation von wesentlichem Vortheile sein, ganz vorzüglich da, wo eine schnelle Entwicklung der jungen Pflanze, klimatischer oder anderer Verhältnisse halber, nöthig ist, sie aufzubringen oder sie mit Vortheil bauen zu können, wie dies z. B. bei dem Raps der Fall ist, der in vielen Gegenden von Erdflöhen und dergleichen Ungeziefer heimgesucht wird, welche aber nur dem jungen Pflänzchen schaden, weshalb denn auch der Landwirth durch kräftige Düngung die Pflanze schnell über das schadennehmende Stadium der Entwicklung hinwegzubringen sucht. Am günstigsten wirkt die Samendüngung jedenfalls in einem kräftigen Boden, kann aber auch in einem armen Boden durch die Vergrößerung der aufnehmenden Fläche und dadurch bessere Ernährung der Pflanze von Nutzen sein, wobei wir jedoch nicht vergessen dürfen, daß manche Pflanze durch üppige Entwicklung in ihrem jugendlichen Zustande und spätere kümmerliche Ernährung leicht Schaden nimmt. Die landwirthschaftliche Praxis dürfte der Sache wol ihre Aufmerksamkeit schenken und sich nähere Aufschlüsse darüber verschaffen.

Ich habe bis jetzt immer davon gesprochen, daß die Vergrößerung der permeablen Oberfläche der Wurzel von Vortheil für die Entwicklung der oberirdischen Pflanzentheile sei; auf welche Weise dieses aber möglich ist, habe ich bis jetzt nicht erörtert. In den oberirdischen oder den Stammtheilen der Pflanzen gehen gelöste anorganische Stoffe im Stoffwechsel auf, sie werden aus dem Zellsafte ausgeschieden, welcher nun in Bezug auf die ausgeschiedenen Stoffe an Concentration abnimmt. Eine bis zur Nahrungsflüssigkeit gehende Ausgleichung führt von Neuem die Stoffe in die Pflanze ein; um so größer nun die aufnehmende Fläche ist, um so schneller ist die Ausgleichung erfolgt. Ein einfacher Versuch überzeugt uns leicht davon.

Ich band das eine Ende einer ungefähr 25 Millimeter weiten Glasröhre, welche verschiebbar in einem Korke steckte, mit einer Collodium-

membran zu, goß in die Röhre 25 CC einer Lösung von schwefelsaurem Natron und brachte sie darauf, grade so wie bei meinem Diffusionsapparate, in einen Cylinder mit 60 CC Wasser; durch Verschieben der Röhre in dem Korke wurde hydrostatisches Gleichgewicht hergestellt und dasselbe bei der Volumzunahme der Flüssigkeit in der Röhre erhalten. In ungefähr zwanzig Stunden hatten die beiden Flüssigkeiten, die in der Röhre und die in dem Cylinder, sich ausgeglichen, d. h. aus der Salzlösung der Röhre und dem Wasser des Cylinders war eine gleichmäßige Salzlösung entstanden. Bei dem zweiten Versuche machte ich die Fläche der Membran durch Aufgießen von Traumaticin (eine Auflösung der Guttapercha in Chloroform) so weit impermeabel, daß nur noch eine Stelle von 3 Millimeter Durchmesser in der Mitte der Membran der Diffusion dienen konnte. Ganz auf dieselbe Weise wie bei dem ersten Versuche gefüllt (gleiche Mengen und gleiche Concentration) und behandelt, gebrauchten jetzt die Flüssigkeiten über vier Tage, um sich in's Gleichgewicht zu setzen, um sich auszugleichen. Den Eintritt der Ausgleichung erkennt man an dem Aufhören des Steigens der Flüssigkeit in der Röhre. Bei diesen Versuchen hatte also das Salz aus der Röhre in das Wasser des Cylinders hineinzudiffundiren, und mußte so lange sich hinüberbewegen, bis in Cylinder und Röhre eine gleichconcentrirte Salzlösung war; bei der 25 Millimeter Diameter großen permeablen Membranfläche geschah das weit schneller als bei der nur 3 Millimeter Diameter großen.

Was hier in dem Versuche geschah, muß auch in der Pflanze eintreten. Wie gesagt, wird an irgend einem Orte in der Pflanze ein gelöster Stoff ausgeschieden, so tritt die Ausgleichung um so schneller ein, als die permeable Wurzelfläche größer ist. Ein beständig fortdauernder Stoffwechsel hat eine beständige Ausscheidung zur Folge; je schneller die ausgeschiedenen Stoffe ersetzt werden, um so schneller kann auch der Stoffwechsel erfolgen und um so stärker muß dann die Production von organischer Pflanzenmasse sein.

Die Erzeugung der organischen Masse in der Pflanze ist an die Gegenwart der anorganischen Stoffe geknüpft. Das Wachsthum der Pflanze oder die Production von Pflanzenmasse, insoweit sie von der Nahrungsflüssigkeit abhängig ist, hat, wie aus dem Vorhergehenden hervorging, zwei Momente, nämlich die Concentration der Nahrungsflüssigkeit und die Ausdehnung der permeablen Wurzelfläche. Je höher die Concentration der Nahrungsflüssigkeit ist, um so höher ist auch die Concentration der Zellflüssigkeit in der Pflanze, und hiermit im Zusammenhange steht die quantitative Stärke des Stoffwechsels und der Production von Pflanzenmasse. Mit der Größe der permeablen Wurzel-

fläche steigt die Schnelligkeit der Ausgleichung, die Schnelligkeit des Stoffwechsels und die Schnelligkeit der Production von Pflanzenmasse. Eine Pflanze, welche durch schwaches Wurzelwerk nur langsam die Ausgleichung der durch den Stoffwechsel verursachten Gleichgewichtsstörung herbeiführt, vermag natürlich auch nur langsam zu wachsen, weil sie nur langsam organische Massen producirt. Die Concentration der Nahrungsflüssigkeit kann ein gewisses Maximum nicht übersteigen, ohne der Vegetation schädlich zu werden, wenigstens ist dies sehr wahrscheinlich; bis jetzt aber ist die Kenntniß der Nahrungsflüssigkeit so weit noch nicht gediehen, um etwas Bestimmtes darüber wissen zu können; jedenfalls ist die schadenbringende Concentration in Bezug auf die einzelnen Stoffe verschieden, von dem einen erträgt die Pflanze eine höhere Concentration als von dem andern. Auch die Pflanzen selbst werden sich verschieden empfindlich gegen die Concentration zeigen.

Einfluß der Wärme auf Pflanze, Nahrungsflüssigkeit und Boden.

Mächtige Nebelfluthen ergießen sich auf die Fluren und traurig blicken uns Florens Kinder aus diesem Nebel an; das liebliche Grün der Felder und Wiesen ist dahin; die Blätter der Bäume und Sträucher entfärben sich, roth oder gelb fallen sie zur Erde nieder, und bald strecken die Bäume, welche kurz vorher noch in vollem Blattschwall prangten, ihre nackten Aeste gen Himmel. Der Winter ist da und seine Kälte erstarrt die noch aus den herbstlichen Stürmen und aus dem herbstlichen Reife gerettete Vegetation; sie dringt in die Pflanze ein und hemmt die Bewegung der Zellflüssigkeit; sie dringt in den Boden ein und verschließt der Erde Schooß, der nun nicht mehr seinen Kindern Nahrung zu liefern vermag. Wie ganz anders ist das Bild des Frühlings, wo die mit jedem Tage am Horizonte höhersteigende Sonne die nackte Erde erwärmt! Die Strahlen der Sonne oder ein thauender West lecken die Schneedecke weg, und die Wärme dringt in den Boden ein, wo sie in der pflanzlichen Nahrungsflüssigkeit neue Bewegungen und in den Pflanzenwurzeln neues Leben weckt. Kaum ist die Schneehülle verschwunden, so schaut schon die strahlige Blüthe der Bellis perennis, des Maaßlieb, den Frühlingshimmel an, und es entquillt bald dem Schooße der Erde frisches Grün; die Bäume und Sträucher knospen und umhüllen sich mit ihrem Blatt- und Blüthenschmuck; kurz es dauert nicht lange, und überall, wo unser Auge hinblickt, knospet es, grünt und blüht es, überall neues Leben. Und dieses Alles ist die Wirkung der Wärme, der Tod der Vegetation im Winter, das Erwachen der Vegetation im Frühjahre! Wie die Wärme hier wirkt, ist nun unsere Aufgabe zu untersuchen, wenigstens so weit diese Erscheinungen mit der Diffusion im Zusammenhange stehen.

In einem früheren Capitel habe ich des Einflusses der Temperatur auf die Membrandiffusion gedacht, ich habe gezeigt, daß die Diffusions-

bewegungen wesentlichen Veränderungen unterworfen sind, jenachdem die Temperatur, unter welcher sie stattfinden, höher oder niedriger ist. Wir haben dort gesehen, daß mit dem Steigen der Temperatur die Diffusionsgeschwindigkeit und das endosmotische Aequivalent größer wird, daß bei nullnahen Temperaturen die Diffusion oft sehr verlangsamt wird. Ganz dieselben Erscheinungen treten auch bei der Pflanze ein. Sinkt die Temperatur in der Pflanze und im Boden, so werden die Diffusionsbewegungen immer langsamer, und weil diese grade das Leben der Pflanze bedingen, so müssen unter einer Temperaturerniedrigung auch die Lebensprocesse nothwendig leiden. Am auffallendsten tritt die Wirkung der Temperaturerniedrigung erst zwischen + 4° und 0° ein, von jenen Temperaturen vorläufig abgesehen, welche die pflanzliche Flüssigkeit erstarren machen. Die in den Zellen der Pflanze enthaltenen gelösten eiweißartigen Stoffe und schleimigen Kohlenhydrate sind es besonders, die durch ihr hohes endosmotische Aequivalent der Pflanze das Wasser zuführen, es durch die Pflanze verbreiten und durch diese Zufuhr besonders den Wirkungen der Verdunstung durch die Blätter entgegenwirken: bei nullnahen Temperaturen ist das endosmotische Aequivalent dieser Stoffe um vieles kleiner geworden; während nun die Verdunstung noch fortwirkt und aus der Pflanze noch Wasser fortführt, kann unter gewissen Umständen das fortgeführte Wasser nicht mehr durch die Wurzel ersetzt werden, die Zellen verlieren dann ihre Spannung und die Pflanze welkt. Das Welken ist die einzige Erscheinung, welche uns von der Temperaturerniedrigung Kunde giebt; sie tritt aber auch nur da ein, wo in den oberirdischen Theilen eine Temperatur herrscht, die eine größere Verdunstung möglich macht, während im Boden oder in der Wurzel die Temperatur so tief gesunken ist, daß die eintretende Wassermenge der Verdunstung nicht mehr entspricht. Uebrigens kann die Temperatur in einer Pflanze sehr niedrig sein, ohne daß Welken eintritt, wenn nämlich die Verdunstung so sehr heruntergedrückt ist, daß die geringe Thätigkeit in der Wurzel noch eine genügende Menge Wasser in die Pflanze einführt. Die Verdunstung selbst wird ja bei niedrigen Lufttemperaturen quantitativ geringer, weil dann das Maximum des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft kleiner und das Aufnahmevermögen und die Verdunstung schwächer wird. Bei niedriger Temperatur muß demnach eine Pflanze weniger Wasser an die Atmosphäre abgeben, verdunsten, als bei höherer Temperatur.

Zunächst haben wir zu untersuchen, von welchen Folgen eine Temperaturerniedrigung bis zu nullnahen Graden auf das Leben der Pflanze ist. Wenden wir uns zuerst zur gestörten Verdunstung und zur gestörten Aufnahme des Wassers durch die Wurzeln. Eine interessante, darauf

bezügliche Arbeit besitzen wir von Julius Sachs[1]). Lesen wir ihn über seine Versuche selbst. „Im Winter 1859—1860 hatte ich Gelegenheit zu sehen, welch nachtheiligen Einfluß eine Temperatur von + 4° R. und darunter auf vegetirende Pflanzen von Tabak, Kürbis und Schminkbohnen ausübt, wenn sie längere Zeit anhält. Wenn die Luftwärme auf + 4° gesunken ist, so fangen die Blätter dieser Pflanzen an so stark zu welken, daß sie nach einigen Stunden wie nasses Zeug herabhängen. Ich habe mich überzeugt, daß bei Tabak diese Erscheinung beinahe genau bei + 4° eintritt. — — — Durch sehr einfache und öfter wiederholte Versuche habe ich mich davon überzeugt, daß die Erschlaffung der Blätter von Tabak und Kürbis bei + 4° durch Störung in der gewohnten Wurzelthätigkeit hauptsächlich verursacht wird. Die Affection der Blätter tritt nämlich nur dann ein, wenn die Wurzeln bis auf + 4° abgekühlt sind; sie hören dann auf, Wasser aufzunehmen, selbst wenn der Boden damit gesättigt ist. Wenn ich die Erde mit den Wurzeln unter den nöthigen Vorsichtsmaßregeln erwärmte, während die erschlafften Blätter in der Luft von + 4° R. blieben, so verschwand nach einer oder einigen Stunden das welke Aussehen, die Blätter wurden vollkommen straff und frisch; wenn dagegen sich die Blätter in warmer Luft befanden und die Wurzeln auf + 4° abgekühlt wurden, so trat in kurzer Zeit die Affection der Blätter ein, sie hingen welk und schlaff herab. Ich erkläre mir diese Erscheinung daraus, daß die Blätter des Tabaks, des Kürbis und der Bohne in einer Luft von + 4° noch merklich transpiriren, daß dagegen die Wurzeln, wenn sie auf + 4° abgekühlt sind, aufhören Wasser aufzunehmen, daß somit in den Blättern Wassermangel eintritt, da das Ausgehauchte nicht wieder ersetzt wird; dieselben Tabaksblätter, welche bei + 4° in 8—10 Stunden völlig erschlafften, konnten 14 Tage lang bei + 3° und + 2° völlig straff bleiben, wenn sie mit einer großen Glasglocke bedeckt waren, welche die Ausdünstung der Blätter hinderte." Soweit Julius Sachs. Die Ursache dieser Erscheinungen liegt klar zu Tage: durch die niedere Temperatur in dem Boden und in den Wurzeln ist das endosmotische Aequivalent der in dem Zellsaft der Wurzelzellen gelösten Stoffe, vorzüglich der eiweißartigen, kleiner, in Folge dessen weniger Wasser in die Wurzel und in die Pflanze eingeführt wird, als durch die Blätter verdunstet. Daß aber, wie Sachs meint, bei niederen Temperaturen über Null, die Wurzeln „aufhören, Wasser aufzunehmen", ist durchaus unwahrscheinlich und durch nichts begründet. Meine Versuche mit Eiweiß (siehe Schluß des Capitels über den Einfluß der Temperatur

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen, Heft 5, Seite 195.

auf die Membrandiffusion) haben gezeigt, daß selbst bei 0° (Temperatur des schmelzenden Schnees) die Diffusion nur etwa um die Hälfte schwächer war als bei 20° C.; ebensowenig wie in diesen Versuchen, wird auch in der Pflanze und deren Wurzeln die Diffusion bei 0°—4° gänzlich darniederliegen.

Die Beschaffenheit eines Bodens wird, nach dem Vorhergehenden zu urtheilen, die Wirkungen niederer Temperaturen auf das Leben der Pflanze mitbedingen; bei gleicher Lufttemperatur werden z. B. in einem kalten Boden oder in einem solchen, welcher seine Wärme leicht ausstrahlt, die Pflanzen leichter und schneller welken, als in einem wärmeren Boden.

Man bemerkt oft, daß zwei in einem Boden nebeneinanderstehende Pflanzen (Pflanzenspecies), also bei derselben Luft und derselben Bodentemperatur, verschieden in ihrer Empfindlichkeit gegen niedere Temperaturen über Null sind; die eine bleibt frisch und straff, während bei der andern die Blätter welk herunter hängen. „Gegenüber der Empfindlichkeit dieser Pflanzen (Tabak, Kürbis und Schminkbohne) fällt die Zähigkeit der nordischen Gewächse auf; große Stauden von Grünkohl und lebhaft vegetirende Pflanzen von Winterraps und Runkelrüben standen während fünf Monaten neben jenen und zeigten nicht ein einziges Mal die geringste Affection durch die niedere Temperatur über Null.“ Jul. Sachs. Wodurch diese Verschiedenheit in der Empfindlichkeit begründet ist, läßt sich bis jetzt nicht mit Bestimmtheit aussprechen; doch dürfte uns der Einfluß niedriger Temperaturen auf die Diffusionsbewegungen und die Verdunstung den richtigen Weg zur Erklärung dieser Erscheinungen zeigen.

Zunächst könnte diese Verschiedenheit in dem tieferen oder minder tiefen Eindringen der Wurzel in den Boden liegen. Es kann wol oft vorkommen, daß ein Boden in tieferen Schichten wärmer ist als in den oberflächlicheren, der Wärmeausstrahlung mehr ausgesetzten Schichten; eine Pflanze nun, die mit ihren Wurzeln in die tieferen, wärmeren Schichten eindringt, nimmt mehr Wasser durch ihre Wurzeln auf, als diejenige, deren Wurzeln sich nur in den oberflächlicheren kälteren Schichten ausbreiten; jene kann dann vielleicht noch so viel Wasser aufnehmen, als die Verdunstung aus ihr fortführt. Man vergesse hierbei nicht, daß, wenn der Boden eine niedere Temperatur hat, gewöhnlich auch die Luft kalt, die Verdunstung beschränkt ist, und weniger Wasser der Pflanze entzogen wird.

Eine andere Ursache könnte die größere oder geringere Eigenwärme der Wurzel sein. Stoffwechsel, chemische Processe, und Diffusion müssen den Wurzelzellen eine Eigenwärme geben. Je concentrirter der Inhalt der Wurzelzellen ist, um so reger sind die Diffusionsbewegungen, und

weil, wie ich später zeigen werde, die Diffusionsbewegungen Wärme erzeugen, muß auch in den Wurzelzellen mit regerer Diffusion mehr Wärme frei werden, als in solchen mit minder reger Diffusion. Finden in den Wurzelzellen chemische Processe statt, so wird auch mit deren Stärke die Eigenwärme steigen. Wenn auch bei höheren Temperaturen ein vielleicht geringer Unterschied nicht von Bedeutung für die Eigenwärme ist, und bei Temperaturen unter Null, wo der Zellsaft erstarrt, nicht zur Geltung kommt, so kann er aber doch bei niedriger Temperatur über Null von Einfluß sein, um so mehr, als das geringe Wärmeleitungsvermögen des Bodens die Wärme der Wurzelzellen und ihrer nächsten Umgebung nicht so leicht und schnell ableitet. Die Wurzel mit höherer Eigenwärme giebt den gelösten Stoffen des Zelleninhaltes ein höheres endosmotisches Aequivalent, führt dadurch mehr Wasser in die Pflanze ein und kann das verdunstende Wasser ersetzen, während die dicht daneben stehende Pflanze, deren Wurzel eine geringere Eigenwärme besitzt, weniger geeignet ist, soviel Wasser durch die Wurzel aufzunehmen, als die Verdunstung fortführt — jene kann straff bleiben, während diese welkt.

Aber auch die Eigenwärme der höheren Pflanzentheile kann bei Pflanzen, deren Wurzelthätigkeit bei niedrigen Temperaturgraden eine gleiche ist, eine verschiedene Empfindlichkeit bedingen, indem dann die Ursache der Empfindlichkeit in der verdunstenden Thätigkeit selbst liegt. Bei der Verdunstung wird Wärme von dem sich in Dunst verwandelnden Wasser gebunden, und zwar um so mehr, als die Verdunstung stärker ist; die Verdunstungskälte wird sich den verdunstenden Zellen mittheilen und würde die Verdunstungsthätigkeit der Pflanze beeinflussen, wenn nicht die Eigenwärme, die bei lebhafter Verdunstung auch lebhafte Diffusion, ausgleichend wirkte.

Mehr Aufmerksamkeit verdient hier aber die Temperatur der Diffusionsströmungen. Geht aus den verdunstenden Zellen Wasser durch Verdunstung fort, so wird es diesen durch Diffusionsbewegungen aus anderen Zellen und hauptsächlich dem Cambium ersetzt und dadurch eine Diffusionsströmung erzeugt, welche bis zur Wurzel geht und hier in die Nahrungsflüssigkeit übertritt. Nun wissen wir aber, daß die Schnelligkeit der Diffusionsbewegungen und die Größe des endosmotischen Aequivalents durch die Temperatur mitbedingt ist; es wird daher die nach den verdunstenden Zellen gehende Wasserströmung in denjenigen Pflanzen, die eine niedrige Temperatur, vorzüglich im Cambium besitzen, langsamer und wegen des kleinen endosmotischen Aequivalents quantitativ schwächer sein, als bei solchen Pflanzen, die unter dem Einflusse einer höheren Innentemperatur stehen; dadurch wird in jenen aber auch weniger Wasser in

die verdunstenden Zellen eingeführt, ihr Inhalt concentrirter bleiben und aus ihnen weniger Wasser verdunsten, als bei diesen, weil, wie bekannt aus der ersten Abtheilung, aus einer Zelle mit concentrirterem Inhalte weniger verdunstet, als aus einer solchen mit niedrigerer Concentration ihres Inhaltes.

Die Eigenwärme der einen Pflanze und ihrer verdunstenden Zellen kann aber selbstverständlich höher sein als die der anderen. Sie ist abhängig von der Größe des Stoffwechsels, welcher der Pflanze um so mehr Eigenwärme giebt, als er lebhafter ist; weiter hat ein lebhafter Stoffwechsel eine regere Diffusion zur Folge, und es wird dabei um so mehr Wärme frei, als die Diffusion reger ist; dann wird die Dicke der Rinde und der Blätter, die Beschaffenheit der Oberhaut von Einfluß auf die Eigenwärme sein und die Neigung der Blätter gegen den Horizont und ihre Stellung gegeneinander, weil nach Humboldt[1]) hierdurch die Ausstrahlung der Wärme wesentliche Modificationen erleidet. Vielleicht influiren auf die Eigenwärme noch manche andere, von außen wirkende Ursachen.

Mit dem Sinken der Lufttemperatur wird zunächst der erste Factor der pflanzlichen Verdunstung herabgedrückt, nämlich das Aufnahmevermögen der atmosphärischen Luft für Wasserdunst; es werden davon aber alle Pflanzen gleich stark berührt. Die Lufttemperatur wirkt aber nicht gleichmäßig auf die Verdunstung in den Pflanzen ein, insofern diese von der eigenen Thätigkeit der Pflanze abhängt; hier ist die Eigenwärme der durch die Verdunstung erzeugten Diffusionsströmungen bestimmend. Denken wir uns in einem Boden, welcher eine Temperatur von + 3⁰ besitzt, zwei Pflanzen nebeneinander, wovon die erste eine höhere Temperatur in ihren oberirdischen Theilen besitzt als die zweite. Bei einer niedrigen Lufttemperatur ist die Verdunstung, bei beiden gleichmäßig, durch das geringe Aufnahmevermögen der Luft herabgedrückt, die verdunstende Menge Wasser gering; es ist indeß gleichzeitig auch durch die niedrige Temperatur des Bodens und der Diffusionswege die in die Pflanzen eintretende Menge Wasser geringer: Verdunstung und Aufnahme von Wasser können sich das Gleichgewicht halten; es kann jedoch auch der Fall eintreten, daß mehr aus der Pflanze verdunstet, als durch die Wurzel eingeführt wird und Welken eintritt, nämlich da, wo durch eine verhältnißmäßig hohen Eigenwärme in den oberirdischen Theilen die Verdunstung befördert wird.

---

[1]) Humbold, Ansichten der Natur. 1. Band. Ueber Steppen und Wüsten. Anmerkung 18

Wie aus den Versuchen der ersten Abtheilung bekannt ist, stehen die aus der Salzlösung zum Wasser gehenden Salzmengen in einem gewissen Verhältnisse zur Temperatur, und zwar geht in einer Zeiteinheit aus gleichconcentrirten Lösungen ein und desselben Stoffes um so weniger Salz zum Wasser, als die Temperatur niedriger ist. Unter dem Einflusse niederer Temperaturen wird also auch bei der Pflanze eine kleinere Menge anorganischer Stoffe aus der Nahrungsflüssigkeit in die Zellflüssigkeit hineindiffundiren als bei höheren, und weil der Stoffwechsel in gewissen Beziehungen abhängig von der Menge der in der Zellflüssigkeit gelösten anorganischen Stoffe ist, so muß derselbe um so schwächer sein, als der Pflanze weniger dieser Stoffe zugeführt werden. Dazu kommt nun noch, daß bei den niedrigen Temperaturen über Null die humosen Stoffe im Boden nicht zersetzt und keine oder nur wenig Kohlensäure entwickelt wird, wodurch aber manchen Nahrungsstoffen das vorzüglichste lösende Agenz fehlt oder doch nur in geringerer Menge auf sie einwirkt und ihnen dann die Fähigkeit abgeht, in die Pflanze hineinzudiffundiren. Der Stoffwechsel, und damit zusammenhängend, andere Lebensprocesse werden durch den Einfluß der genannten Temperaturen verlangsamt, wenn auch nicht ganz aufgehoben.

Es scheint, daß die niedrigen Temperaturen über dem Eispunkte, selbst bei längerer Einwirkung den Tod der Pflanze selbst nicht unbedingt herbeizuführen vermögen; die meisten erholen sich wieder, wenn die Diffusion freier wird. Die Blätter aber, welche längere Zeit welk bleiben, gehen meistens zu Grunde, was übrigens bei jedem längeren Welken, aus welcher Ursache es auch entstanden sein mag, der Fall ist. Es läßt sich indessen leicht beobachten, daß die Blätter der einen Pflanze weit empfindlicher sind, als die Blätter anderer Pflanzen; während unsere heimathlichen Gewächse frisch und gesund bleiben, lassen Tropengewächse, Warmhauspflanzen, ihre Blätter schlaff herunterhängen; es scheint das hauptsächlich von der Spannung der Zellen, die ja die Straffheit der Gewebe bedingt, abzuhängen. Diese, eine Warmhauspflanze z. B., die bei reichlicher Bodenfeuchtigkeit und einem hohen Luftfeuchtigkeitsgehalte unter dem Einflusse hoher Temperaturen sich entwickelt haben, werden, wenn sie einer kalten und minder feuchten Luft ausgesetzt werden und ihr Boden sich abkühlt und sie unter diesen Verhältnissen längere Zeit verbleiben, viel mehr zu leiden haben, als Pflanzen, die unserer Zone angehören oder sich ihr acclimatisirt haben; die Verhältnisse, unter welchen sich jene Pflanzen entwickeln, das hohe endosmotische Aequivalent, der große Gehalt des Bodens an Wasser und die geringe Verdunstung des Wassers aus der Pflanze, aus ihren Zellen, müssen die letzteren nothwendig in

eine hohe Spannung versetzen; aber die starke Spannung bedingt auch ein leichtes Erschlaffen der Zelle und in Folge dessen auch der Gewebe des Blattes, wenn die Ursachen der Spannung schwächer wirken, wenn die Verdunstung erhöht, das endosmotische Aequivalent erniedrigt wird; die Blätter solcher Pflanzen werden schnell und stark welken und wahrscheinlich deshalb schon bei verhältnißmäßig kurzer Dauer des Welkens zu Grunde gehen. Wenn hingegen die Blätter der Pflanzen unserer Klimate weit weniger leiden, so haben sie diese Widerstandsfähigkeit dem Umstande zu verdanken, daß die Straffheit ihrer Blätter aus einer weit geringeren Spannung der Zellen hervorgeht — da von dem in die Zelle eingeführten Wasser immer ein großer Theil gleich wieder verdunstet oder vielmehr nach den verdunstenden Zellen der Blätter hin abgeführt wird und dadurch die Membran nicht so stark ausgedehnt werden kann, muß ja der Straffheit eine geringere Spannung zu Grunde liegen. — Eine straffer gespannte Zelle wird mehr erschlaffen, als eine minder straff gespannte, wenn bei beiden die Factoren der Spannung gleichmäßig abnehmen. Diese Verhältnisse mögen es auch bedingen, daß auf die Vegetation in den Tropen eine Temperatur weit über Null schädlich wirkt, die unsere Pflanzen auch nicht im Geringsten afficirt.

Göppert[1]) setzte tropische Pflanzen von verschiedener Structur an einem vor Wind geschütztem Orte einer Temperatur von + 1° R. aus; viele dieser Pflanzen zeigten schon am zweiten Tage schwarze Flecken in der Blattsubstanz, denen ein gänzliches Absterben und Abfallen der Blätter folgt; bei Pflanzen mit „härteren" Blättern treten diese Erscheinungen erst am 3., 4. und 5. Tage ein, Polypodium aureum und Arten von Cactus litten gar nicht. Nach Hardy[2]) starben von Pflanzen, welche im Freien in den Boden gepflanzt wurden, im Herbste bei + 5° und + 3° manche, während andere bei + 1° am Leben blieben; unter den letzteren waren z. B. Dracaena Draco, Bignonia stans, Jatropha multifida, Euphorbia splendens. Die Bildung der schwarzen Flecke war nicht die Folge der Temperaturen über Null, sondern des Gefrierens, ein wirkliches Erfrieren, „es ist nicht unwahrscheinlich, daß die schwarzen Flecken in der Blattsubstanz wirklich erfroren, desorganisirt waren; da nach seiner (Göppert's) Angabe die Luft + 1° hatte, so scheint die Angabe nicht zu gewagt, daß einzelne Blätter oder Blatttheile durch Ausstrahlung und Verdunstungskälte sich bis unter den Eispunkt abkühlen." (Jul. Sachs.)

---

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen, Heft 5, Seite 194 u. flg.
[2]) Ebendaselbst.

Wenn die Diffusion in und zu den Pflanzen träger wird, wenn weniger Nahrungsstoffe in die Pflanze eintreten, müssen die physiologischen Processe verlangsamt werden oder ganz darniederliegen — die Vegetation ruht. Wenn im Herbste die Diffusionsströmungen in den Blättern und aus dem Stamme zu ihnen durch Temperaturerniedrigung nachlassen oder durch Korkbildung im Blattgelenke ganz aufgehoben werden, so färben sich die Blätter gelb und roth, das Chlorophyll verwandelt sich in Xantophyll oder Erythrophyll; viele Blätter sterben dabei und fallen ab, besonders jene, denen die Nahrungszufuhr durch Korkbildung im Blattgelenke abgeschnitten ist; Blätter, welche den Winter überdauern, nehmen im Frühjahre, wenn die Diffusion wieder lebhafter wird, von Neuem eine grüne Farbe an, wie z. B. der Raps, dessen Blätter im Herbste oder beginnenden Winter sich roth färben.

Die Molecularbewegungen in der Zelle, d. h. im Zellsafte und im Protoplasma haben höchstwahrscheinlich eine gewisse Bedeutung für die Lebhaftigkeit und die Richtung des Stoffwechsels; wenn Dem so ist, so würde die mehr oder weniger durch Temperaturerniedrigung gehemmte Verdunstung und die verminderte Zufuhr von Wasser und anderen Stoffen durch die Wurzel und die daraus folgende träge Molecularbewegung oder eingetretene Ruhe in den Zellen der Pflanze mit zur Verlangsamung und veränderten Richtung des Stoffwechsels beitragen. Vielleicht ist die Bildung des Stärkemehls von einer gewissen Ruhe des Zelleninhaltes abhängig; Zellen, in welchen lebhafte Diffusionsströmungen stattfinden, wie im Cambium, bilden niemals Stärkemehl; es würde dies auch erklären, weshalb in unseren Bäumen die Stärkemehlbildung im Herbst und Winter so vorwiegend eintritt. Ob die obenbesprochenenen Veränderungen der Blätter, des Chlorophylls, durch eine trägere Molecularbewegung oder durch beschränkte oder aufgehobene Zufuhr von Nahrungsstoffen entstehen, ist schwer zu entscheiden; vielleicht ist die Veränderung des Chlorophylls sogar eine Folge veränderter Lichteinwirkung, indem sich die chemischen Strahlen der Herbstsonne ganz anders verhalten als die der Sommer- und Frühlingssonne — ein Gegenstand, worüber die Physik noch wenig Licht verbreitet hat.

Bei + 4° bis 0° hört die Diffusion nicht ganz auf; es werden wol noch immer anorganische Stoffe und Wasser in die Pflanze eingeführt; jedenfalls wird bei den meisten Pflanzen der Stoffwechsel noch in einem gewissen Grade möglich sein, wenn auch nicht in einem so hohen Grade, daß auffallende Wachsthumserscheinungen beobachtet werden könnten. Auch die Stoffe in der Pflanze, sowol anorganische als organische, werden noch von einem Orte zum andern diffundiren können. In milden

Wintern, wo die Temperatur des Bodens und der Luft, der Wurzel und des Stammes die meiste Zeit nicht unter Null fällt, werden gewiß in den in dem vorhergehenden Sommer angelegten Knospen unserer Bäume und Sträucher manche Veränderungen vor sich gehen, die Wurzelknospen werden noch Nahrungsstoffe aufnehmen und verarbeiten, kurz es können mit der nicht ganz unterdrückten Diffusion in der Pflanze und zwischen Boden und Pflanze die Lebensprocesse, wenn auch unbemerkbar für unser Auge, fortgeführt werden. Nach einem milden Winter bedarf es im Frühjahre nur einiger freundlicher Sonnenblicke und die Vegetation ist, wie hervorgezaubert, da; die Knospen, welche den Winter über Gelegenheit hatten sich immer mehr auszubilden, entfalten sich bald, den Wurzelknospen entquillt schnell das Grün der Flur und die Stammknospen entreißen sich ihrer Hülle, um die nackten Aeste der Bäume und die dürren Reiser des Strauchwerkes nicht lange auf ihren Blattschmuck warten zu lassen. Wie lange dauert es aber nach anhaltend hartem Winter, ehe das Frühlingssehnen der Natur Wirklichkeit wird! Lange noch sehen uns Fluren und Hain mit winterlichtraurigem Gesichte an, viele warme Tage sind nöthig, um die Ankunft des Vegetationsfrühlings zu erkämpfen; aber des Winters Kälte hatte das stille Knospenleben gelähmt, sie wurden nicht vorbereitet zu einem schnellen Erwachen.

Die untergetauchten Wasserpflanzen vegetiren den ganzen Winter über, selbst unter der Eisdecke ruhen ihre Lebensprocesse nicht, wie uns schon die sauerstoffreichen Luftblasen, welche sich unter der Eisdecke bilden und welche auf eine Zersetzung der Kohlensäure in den Wasserpflanzen hinweisen, erkennen lassen. Der Protococcus nivalis, welcher als rother Hauch schnell die Schnee- und Eisfelder des hohen Nordens überzieht, wenn die Sonne sie anblickt, bedarf zu seinem Vegetations- und Fortpflanzungsleben nur die Temperatur des schmelzenden Schnees; denn eine höhere Temperatur ist wol in dem von der Sonne eben erzeugten Thauwasser, worin diese Pflänzchen vegetiren, nicht möglich; wir wissen aber auch durch meine Versuche, daß selbst bei dieser Temperatur die Diffusion noch immer eine verhältnißmäßig lebendige ist, daß besonders die eiweißartigen Stoffe viel Wasser noch in die Zelle einzuführen vermögen, welche Diffusionsströmungen wieder anderweite Lebensprocesse hervorrufen oder begünstigen u. s. w.

Fällt die Temperatur der Pflanzen unter Null, erstarrt die Flüssigkeit in den Zellen zu Eis, so hört alle Diffusion auf; in Beziehung auf die Lebensprocesse ist die Pflanze in diesem Zustande als todt zu betrachten; denn mit dem Aufhören der Diffusion liegen auch alle Lebensprocesse

darnieder. Das Gefrieren einer Pflanze zieht indeß den Tod, ein wirkliches Erfrieren, nicht unbedingt nach sich; dieser tritt in der Regel nur dann ein, wenn die gefrorenen Pflanzen oder Pflanzentheile plötzlich oder schnell aufthauen; in diesem Falle werden die Blätter und sonstigen Pflanzentheile schwarz, sterben ab, kurz sie fallen, wie man früher sagte, dem Chemismus anheim. Eine ausführliche und gediegene Arbeit über Gefrieren und Erfrieren der Pflanzen hat uns jüngst Julius Sachs[1]) geliefert. Wenden wir uns zuerst zu den Erscheinungen des Erfrierens und Aufthauens. „Ein gefrorenes Blatt nimmt im Moment des Aufthauens plötzlich eine reinere, lebhaft grüne Färbung an; betrachtet man ein erfrorenes Blatt neben einem frischen vor einem dunklen Hintergrunde, so erscheint jenes dunkler grün, betrachtet man beide im durchfallenden Lichte, so erscheint das frische undurchsichtiger, das erfrorene heller und durchscheinend." Die eigenthümliche Undurchsichtigkeit der frischen Blätter ist eine Folge ihrer innern Ungleichheit; zwischen den mit Flüssigkeit erfüllten Zellen liegen eben so viele Räume, welche Luft enthalten und das Licht in anderer Richtung brechen als die Flüssigkeit in den Zellen. „Das Ansehen nicht allein, sondern auch das sonstige Verhalten erfrorener Pflanzentheile fordert zu der Annahme auf, daß sich im Moment des Aufthauens die Luftlücken des Parenchyms mit Wasser füllen," wenigstens mit irgend einer Flüssigkeit. Die erfrorenen und wieder aufgethauten Blätter sind schlaff, herabhängend und weich; die Zellen haben also ihre Spannung verloren. „Eine dritte Aenderung, ebenso charakteristisch und wesentlich, besteht darin, daß die erfrorenen Theile, wenn man sie zerschneidet oder drückt, Wasser ausströmen lassen, nicht tropfenweise und langsam, sondern strömend, wie aus einem vollgesogenen Schwamme." Dies ist nicht allein Folge der Infiltration der Intercellularräume. „Eine vollständig erfrorene Rübe oder Kartoffel kann man zwischen den Händen so ausdrücken, daß man zuletzt nur eine fast trockene Masse von zäher Beschaffenheit zurückbehält, während dies bei frischen Stücken selbst mit einer Presse schwierig ist. Demnach müssen bei dem Aufthauen die Zellhäute die Fähigkeit erhalten haben, ihre Inhaltsflüssigkeiten bei dem geringsten Druck ausströmen zu lassen."

Das Eigenthümlichste bei dem Gefrieren und schnellen Aufthauen oder dem Erfrieren ist, daß die Zellen ihr Wasser oder einen Theil ihres flüssigen Inhaltes in die Intercellularräume ergießen, dabei sind die Zellen selbst aber unverletzt, nicht zerrissen. Im frischen Gewebe haben die in

---

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen, 5. Heft. Seite 167 u. flg. „Untersuchungen über das Erfrieren der Pflanzen."

dem Zelleninhalte gelöst vorkommenden Stoffe so viel Wasser in die Zelle eingeführt, daß diese sich in einem Zustande von Spannung befindet; nach dem Erfrieren nun tritt ein großer Theil der Zellflüssigkeit durch die Membran aus und die Spannung geht verloren. Ueber die Ursache dieser Erscheinung sagt uns Julius Sachs Folgendes: „Da nun die Zellhäute nicht zerrissen sind, so muß diese neue Eigenschaft daher rühren, daß die Substanz der Zellhäute selbst eine innere Veränderung erfahren hat, die sie befähigt, Flüssigkeiten austreten zu lassen; man kann sagen, sie sind poröser geworden, oder um die Sache ohne theoretische Nebenbedeutung zu bezeichnen, sie sind durchdringlicher, permeabler geworden." Durch Zufall beobachtete ich Aehnliches bei einer Collodiummembran; eine solche, deren Permeabilität ich kannte, blieb mehrere Monate im Wasser eingefroren stehen; nachdem sie mehrere Male aufgethaut und wieder eingefroren war, untersuchte ich sie schließlich auf ihre Permeabilität, die nun entschieden zugenommen hatte.[1]) (Siehe Unveränderlichkeit in der Membran auf Seite 37.) Ich hatte auf diese einzelstehende Beobachtung weiter kein Gewicht gelegt und sie fast vergessen, als mich Julius Sachs' treffliche Arbeit wieder daran erinnerte. Das Permeablerwerden einer Membran durch Gefrieren läßt sich wol erklären oder wenigstens die Ursache derselben vermuthen. Wenn eine permeable Membran mit Wasser in Berührung ist, so sind alle Molecularinterstitien derselben mit Wasser erfüllt; gefriert nun das Wasser in diesen, so müssen nothwendig die Molecularinterstitien durch die Volumvergrößerung des erstarrenden Wassers ausgedehnt werden, ein Zustand, welcher permanent zu werden vermag. Julius Sachs theilt auch noch außer den obenerwähnten andere Versuche mit, welche entschieden für ein Permeablerwerden der Membran sprechen, die ich hier aber übergehen muß, indem ich in Betreff derselben auf die Originalabhandlung verweise.

Die Spannung der Membran und ihre Permeabilität scheinen in einem gewissen Verhältnisse zu einander zu stehen: je permeabler eine Membran ist, um so weniger stark wird ihre Spannung werden können, d. h. sie wird dann um so weniger Widerstand dem exosmotischen Strome entgegensetzen. Denken wir uns eine geschlossene, mit Salzlösung gefüllte Membranröhre in Wasser untergetaucht; Salzlösung und Wasser mischen sich, für jedes austretende Salzvolum tritt aber ein zwanzig-, fünfzig-,

---

[1]) Ob nach einem plötzlichen Aufthauen, weiß ich nicht mehr. Der Apparat stand vor dem Fenster meines Arbeitszimmers, und es ist wahrscheinlich, daß ich das Eis durch warmes Wasser oder am warmen Ofen aufthaute; es könnte leicht ein plötzliches Aufthauen stattgefunden haben.

hundertfaches Volum Wasser in die Membranröhre ein, wodurch diese sich ausdehnt und die Membran in Spannung versetzt werden muß; hat die Membran einen gewissen Grad von Spannung erreicht, so wirkt sie drückend auf den exosmotischen Strom, welcher verstärkt wird; sie preßt gleichsam ihren flüssigen Inhalt durch die Molecularinterstitien heraus. Die Membran ist dem exosmotischen Strom ein Hinderniß, sie stört den Austritt des sich mit dem außerhalb befindlichen Wasser mischenden Stoffes in der Membran, und durch den fortwährenden Eintritt des Wassers von außerhalb muß also die Membran sich ausdehnen. Bei einem gewissen Grade von Spannung wird eben so viel aus der Membran herausgepreßt, als durch den endosmotischen Strom in sie eintritt. Je weniger permeabel die Membran ist, d. h. je weniger die Molecularinterstitien durchlassen, um so größer wird die Spannung werden können. Denken wir uns nun, die Membran würde plötzlich um das Doppelte permeabler, die Molecularinterstitien ließen doppelt so leicht Flüssigkeiten von innen nach außen treten, so wird sogleich der Druck der gespannten Membran einen großen Theil des Inhaltes herauspressen. Die Spannung kann in dem letzten Falle, wenn nämlich die Membran permeabler geworden ist, nicht so hoch sein als in dem ersten, weil die Membran dem nach außen wirkenden Drucke weniger Widerstand zu leisten vermag; die Spannung wird sich nun der Permeabilität accommodiren. Spannung der Membran und Permeabilität stehen demnach immer in bestimmtem Verhältnisse zu einander.

In der Pflanze, besonders im Parenchym des Blattes, berühren die Zellen sich nur in einzelnen Punkten, an den anderen Punkten stehen sie mit lufterfüllten Räumen — Intercellularräumen — in Berührung. Der Inhalt der Zellen zieht eine so große Menge Wasser an, daß die Zellen sich ausdehnen und ihre Membran in Spannung versetzt wird; die Zellen drücken hierdurch gegen einander, werden polyedrisch und bedingen auf diese Weise die Straffheit des Gewebes. Die Permeabilität der Zellen und deren Spannung stehen im gesunden Zustande in einem solchen Verhältnisse zu einander, daß die gespannte Membran keine merklichen Mengen des Zelleninhaltes nach außen in die lufterfüllten Intercellularräume preßt. Wenn nun aber ein Pflanzentheil, ein Blatt z. B., gefriert und die Zellenmembrane um vieles permeabler sind, so preßt die gespannte Membran einen Theil des Zelleninhaltes in die Intercellularräume hinein, und es tritt jener Zustand ein, welcher bei dem Erfrieren beobachtet wurde — eine Infiltration des Gewebes. Die Spannung der Membran ist nun nicht mehr so hoch, die Ausdehnung nicht mehr so groß und die ursprüngliche Straffheit des Gewebes ist verloren. So

lange wie der Zelleninhalt noch in den Zellen eingeschlossen war, stand er nur in sehr beschränkter Weise mit der atmosphärischen Luft in Berührung, nun aber, wo ein Theil des Zelleninhaltes in die Intercellularräume eingetreten ist, kann die Luft besser auf die Stoffe des ausgetretenen Zelleninhaltes einwirken, und es erfolgen chemische Zersetzungen, deren Folge das Schwarzwerden ꝛc. der erfrorenen Theile ist. Die chemische Zersetzung bedingt den Tod.

Alle Pflanzenforscher, welche sich mit dem Erfrieren beschäftigt haben, beobachteten ein schnelles Vertrocknen der erfrorenen Blätter. Hugo von Mohl hat durch eine große Beobachtungsreihe den Beweis geführt, daß bei sehr verschiedenen Pflanzen ohne Ausnahme die erfrorenen Theile ihr Wasser schneller verdunsten lassen als die frischen. Das in die Intercellularräume eingetretene Wasser wird sehr leicht verdunsten, weil es hier keine Membrane, welche mehr oder weniger die Verdunstung aufhalten, zu passiren hat. Es kann aber auch die Verdunstung des Wassers dadurch erleichtert werden, daß die Permeabilität der Zellenmembrane zugenommen hat, worauf Sachs und von Mohl nur allein Gewicht legen; es geht aber auch der Zelleninhalt selbst durch das Gefrieren in einen Zustand über, welcher das Verdunsten des Wassers begünstigt. Julius Sachs[1]) nämlich beobachtete, daß aus Eiweißlösung durch Gefrieren ein Theil des Eiweißes ausgeschieden wird; findet diese Ausscheidung, was wol keinem Zweifel unterliegen kann, auch in dem Zelleninhalte statt, so nimmt derselbe dadurch an Concentration ab, und aus einer weniger concentrirten Lösung verdunstet durch permeable Membrane das Wasser leichter als aus solchen mit höher concentrirtem Inhalte.[2])

Langsames Aufthauen schützt die meisten gefrorenen Pflanzen vor dem Erfrieren, vor dem Tode. Es scheint, als wenn hierdurch die ursprüngliche Permeabilität wieder hergestellt werde. Das Gefrieren des Wassers hat, wollen wir an der vorhin aufgestellten Hypothese festhalten, eine Ausdehnung der Molecularinterstitien zur Folge, d. h. Ver-

---

[1]) Landwirthschaftl. Versuchsstationen, Heft 5, Seite 192.

[2]) Aehnliche Erscheinungen, ein schnelles Verdunsten des Wassers, beobachtete Hugo von Mohl auch, wenn er Blätter in siedendes Wassers eintauchte, und bei Pflanzen, die durch Gifte getödtet wurden; auch hier nimmt er ein Permeablerwerden der Membran in Anspruch. Dafür haben wir jedoch keine Beweise — keine Gründe, es anzunehmen; auch hier beruht das schnellere Verdunsten auf einer Verminderung der Concentration des Zelleninhaltes: bei dem Eintauchen in heißes Wasser gerinnt das Eiweiß, es wird aus seiner Lösung ausgeschieden; die meisten Pflanzengifte wirken dadurch tödtend, daß sie eine Coagulation des Eiweißes herbeiführen, wodurch ja auch die Concentration des Zellsaftes erniedrigt wird.

schiebung der Membranmolecüle; schnelles Aufthauen macht die gegenseitige Stellung der Molecüle, welche sich durch die Verschiebung bei'm Gefrieren gebildet hat, permanent, langsames Aufthauen führt die Molecüle hingegen in die ursprüngliche Stellung zurück. Die Erklärung der Sache als mechanisch-physikalischen Vorgang ist freilich eine rein theoretische Speculation; wir werden uns damit aber so lange begnügen müssen, bis die Constitution der Materie selbst über das Stadium der philosophischen Speculation hinweg gekommen ist.

Die eine Pflanzenspecies, das eine Pflanzenindividuum leidet mehr und leichter durch Gefrieren als manches andere, was seine Ursache in verschiedenen Verhältnissen haben kann. So ist wohl anzunehmen, daß eine Pflanze um so leichter leidet, als sie reicher an eiweißartigen Stoffen ist. Auf die Spannung der Zellen haben diese Stoffe einen gewissen Einfluß; je mehr gelöste eiweißartige Stoffe (und schleimige Kohlenhydrate) eine Zelle in ihrem Inhalte enthält, um so mehr Wasser wird in sie eingeführt und um so mehr wird diese Membran gezwungen sein, sich auszudehnen, je strafer nun aber die Membran gespannt ist, um so stärker preßt sie bei dem Permeablerwerden durch Erfrieren den Zelleninhalt hinaus. Wie gesagt, es dürfte wahrscheinlich sein, daß die Empfindlichkeit einer Pflanze gegen das Gefrieren von dem Gehalte ihrer Zellen an gelösten Proteinstoffen zum Theil abhängt. Die Praxis wird uns hierüber leicht Aufschluß verschaffen können; einzelne Beobachtungen scheinen mir dies zu bestätigen — so sah ich jüngst noch, daß auf einem im Herbst stark gedüngten Felde der Winterraps durch die Kälte dieses Winters fast vollständig zu Grunde gegangen war, während auf einem ganz in der Nähe liegenden vernachläßigten und schlecht gedüngten Stücke die Rapspflanzen hielten, obgleich sie viel kümmerlicher entwickelt waren als die auf dem gut gedüngten Felde.

Auf die Spannung der Zellen ist, wie bekannt, auch das endosmotische Aequivalent und die Verdunstung von Einfluß; ich habe vorhin gezeigt, daß Pflanzen, die sich unter hoher Temperatur und einem großen Feuchtigkeitsgehalt der Luft, wie in der Tropenzone und im Warmhause, entwickeln, straffer gespannte Zellen besitzen müssen, als solche, deren Entwicklung bei niedrigerer Temperatur, also kleinerem endosmotischen Aequivalente, und einer feuchtigkeitsärmeren Luft vor sich geht, wo durch die größere Verdunstung fortwährend mehr Wasser aus den Zellen fortgeführt wird und sie dadurch nicht zu einer starken Spannung gelangen können. Bei jenen Pflanzen wird deshalb der Zelleninhalt bei dem Gefrieren leichter und stärker herausgepreßt als bei diesen; es könnte sogar der Fall eintreten, daß bei Pflanzen mit geringer Spannung trotz dem

Erfrieren und Permeablerwerden der Membran der Austritt des Zelleninhaltes unbedeutend ist und die Pflanzen sich wieder erholen können, wie dies ja auch die Beobachtung bestätigt, daß manche Pflanzen gefrieren und schnell aufthauen können, ohne einen wesentlichen Schaden davon zu nehmen. Man muß aber hierbei in Betracht ziehen, daß aller Wahrscheinlichkeit nach Zellenmembrane mit stärkerer Spannung bei dem Gefrieren in einem höheren Grade an Permeabilität zunehmen als solche, welche nur eine geringe Spannung besitzen, und daß bei jenen auch selbst bei langsamem Aufthauen die ursprüngliche Permeabilität nicht restituirt wird. Es sterben viele gefrorene Pflanzen, auch wenn sie langsam aufthauen, und es scheint, daß bei diesen ebenfalls der Tod durch Eindringen der Zellenflüssigkeit in das Gewebe bedingt wird, wie dies die so schnell eintretende Zersetzung andeutet.

Aus dem oben Gesagten erklärt sich vielleicht auch ein Versuch Göppert's.[1]) Er verpflanzte Exemplare von Senecio vulgaris, Fumaria officinalis und Poa annua, welche schon einmal — 9° überstanden hatten, in einen Topf und ließ sie in einem Warmhause bei +12° bis +18° fünfzehn Tage lang stehen; darauf wurden sie einer Luft von „7°" (jedenfalls doch —7°) ausgesetzt, wobei sie erfroren, während die im Freien gebliebenen Exemplare derselben Art keinen Schaden nahmen. Im Warmhause mußte die Spannung der Zellen dieser Pflanzen zunehmen, weil das endosmotische Aequivalent stieg und die Verdunstung in der gewöhnlich sehr feuchten Warmhausluft heruntergedrückt wurde; als sie nun in die kalte Luft kamen und gefroren, traten alle die Wirkungen einer stärker gespannten Membran hervor — die Pflanzen starben.

Wurzel, Rhizome und andere unterirdische Pflanzentheile erfrieren selten, jedenfalls weil die langsame Erwärmung des Bodens die todtbringende Wirkung des schnellen Aufthauens unmöglich macht; dasselbe gilt auch für oberirdische Pflanzentheile, die durch eine starkentwickelte Rinde vor dem schnellen Aufthauen geschützt sind und weniger durch Gefrieren leiden, als die appendiculären Organe. So leiden Bäume in ihrem Stamme wol durch mechanische Wirkungen der Kälte, nicht aber treten so leicht bei ihnen jene Beschädigungen ein, die mit der Diffusion in Beziehung stehen; weil ich hier jedoch nur die letzteren zu besprechen habe, so muß ich in Betreff der Wirkung des Gefrierens im Allgemeinen auf die neueren Lehrbücher der Pflanzenphysiologie und auf die oftgenannte Arbeit von Julius Sachs hinweisen. Es sei hier nur noch der Be-

---

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen. Heft 5, Seite 180. — Göppert, Wärme-Entwicklung in den Pflanzen (1830) Seite 63.

obachtung der Forstmänner erwähnt, daß starker Märzfrost den Bäumen mehr schadet, als selbst der stärkste Januarfrost, besonders wenn dem Märzfroste gelindes Wetter vorausging, und die Zellen der Diffusionswege in Folge dessen schon Flüssigkeiten aufgenommen, sich ausgedehnt haben und ihre Membran sich in einem Zustande von Spannung befindet; ob hier nun der Frost durch die eingetretene Spannung der Zellen schädlich wirkt (Desorganisation des Cambiums) oder ob eine andere Beschädigung eintritt, wäre interessant, zu untersuchen.

Auf die Wirkungen höherer Wärmegrade, aber solcher, welche die Pflanze nicht direct tödten, übergehend, werden wir auch die Zunahme in der Schnelligkeit der Diffusionsbewegungen und das Größerwerden des endosmotischen Aequivalentes als die hauptsächlichsten Ursachen der dadurch hervorgerufenen Erscheinungen im Auge zu halten haben.

Steigt die Temperatur der oberirdischen Theile einer Pflanze, so wird die Thätigkeit in den verdunstenden Zellen erhöht, es geht mehr Wasser aus ihnen fort. Die Schließzellen der Spaltöffnungen werden zuerst davon afficirt, sie verdunsten stark, ihr Volumen nimmt ab, und die Spaltöffnung erweitert sich, in Folge dessen kann der Wasserdunst leichter aus den Athemhöhlen und den Luftgängen austreten. Theilt sich die höhere Temperatur denjenigen Diffusionsströmungen mit, welche den verdunstenden Zellen das Wasser zuführen, so wird sich in dieser Strömung mehr Wasser bewegen, der Zelleninhalt der verdunstenden Zellen mehr verdünnt werden, wodurch eine quantitativ stärkere Verdunstung veranlaßt werden muß. Besitzt die Wurzel dann nicht eine entsprechende Temperatur oder der Boden nicht in genügender Menge Wasser, so tritt leicht der Fall ein, daß aus den oberirdischen Theilen mehr Wasser verdunstet, als die Wurzel zuführt und die Pflanze welkt.

Auch wenn in der Wurzel die Temperatur steigt, wird dadurch die Verdunstung stärker. Das größere endosmotische Aequivalent der im Zellsaft der Wurzelzellen gelösten Stoffen, verursacht den Eintritt einer größeren Wassermenge, der Inhalt der Wurzelzellen wird hierdurch mehr verdünnt, und indem die Concentrationsausgleichung von Zelle zu Zelle geht, wird auch in den verdunstenden der Inhalt verdünnt und in Folge dessen eine stärkere Verdunstung eintreten. Durch das größere endosmotische Aequivalent nimmt auch die Spannung der Zellen zu, welche sich schließlich dann ebenfalls in den verdunstenden Zellen erhöht und gleichfalls Veranlassung zur Verstärkung der Verdunstung wird. Von zwei Pflanzen wird diejenige verhältnißmäßig am meisten verdunsten, deren

Boden die höhere Temperatur besitzt. Auch hier begegnen wir wieder einem Versuche von Julius Sachs, welcher die Sache im Experiment zeigt.[1]) Zwei Tabakspflanzen mit je sechs Blättern wurden in zwei gleiche Glasgefäße mit einem Boden von humosem, grobkörnigem Sande gepflanzt; nachdem die Pflanzen sich dem Boden accomodirt hatten, wurden die Glasgefäße durch halbirte Deckel so geschlossen, daß außer durch die Pflanze selbst, kein Wasser aus der Erde der Glasgefäße entweichen konnte. Das eine Glaßgefäß (I.) stand in Wasser, das zweite (II.) in Sand, der beliebig erwärmt werden konnte und dessen Wärme sich dem Glasgefäße mittheilte, so jedoch, daß die Blätter der Pflanze vor der aufsteigenden warmen Luft geschützt waren. Bei den Versuchen hatten beide Pflanzen gleiche Lufttemperatur und gleiche Beschattung. Zuerst wurden die Pflanzen auf ihre Verdunstung bei gleicher Lufttemperatur untersucht; I. verhält sich zu II. wie 13,3 zu 11,1.

Dauer der Vedunstung in Stunden	Bodentemperatur	Verdunstete Menge Wasser in Grammen
	I. gleich	13,3
	II. gleich	11,1
21	I. 18°	11,2
	II. 24°	11,4
24	I. 19°	10,0
	II. 25°—33°	15,5
21	I. 17,5°	6,5
	II. 24°	9,0
24	I. 19°	8,6
	II. 34°	11,5

u. s. w.

Diese Zahlen der Versuchsreihe werden genügen, um dem Gesagten einen numerischen Ausdruck zu geben.

Von welchem Einfluß die Wärme oder vielmehr das Wärmeleitungsvermögen eines Bodens ist, sehen wir hier, und die practische Deutung dieser Erscheinungen liegt so nah auf der Hand, daß es überflüssige Mühe sein würde, sie hier noch ausführlich hervorzuheben.

Durch das Steigen der Temperatur in der Pflanze und im Boden wird auch diejenige Diffusionsströmung, in welcher sich die gelösten Stoffe bewegen, quantitativ stärker, d. h. in einer Zeiteinheit tritt bei einer höheren Temperatur eine größere Menge anorganischer Stoffe in die

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen, Heft 3, Seite 238.

Pflanze ein, und die organischen Stoffe bewegen sich schneller von einem Orte zum anderen als bei einer niedrigeren Temperatur.

Jede Pflanzenspecies scheint zu ihrer Entwicklung eine bestimmte Quantität Wärme nöthig zu haben. Man ist übereingekommen, die zur Entwicklung einer Pflanze nöthige Wärmemenge dadurch zu bestimmen, daß man die mittlere Temperatur der Vegetationszeit der Pflanze mit der Anzahl der Tage von der Keimung bis zum Eintritt der Blüthe oder bis zur beendigten Reife multiplicirt. Wenn z. B. eine Pflanzenspecies an einem gewissen Orte 120 Tage von der Keimung bis zur Reife bedarf und die mittlere Temperatur ihrer Vegetationszeit + 10° ist, so hat sie sich unter dem Einflusse einer Wärmemenge entwickelt, welche = 1200 zu setzen ist. Dieselbe Pflanzenspecies würde sich an einem anderen Orte ebensogut entwickeln, dessen mittlere Temperatur + 8° ist, bedarf dann aber 150 Tage von der Keimung bis zur Reife. Die Sache läßt sich am besten an wirklich beobachteten Beispielen erörtern; weil mir aber genauere Untersuchungen augenblicklich nicht zur Hand sind, muß ich mich auf einige etwas ungenaue Bestimmungen für die Vegetation der Gerste beschränken. (Es sind hierbei die Angaben über Saat- und Erntezeit nicht ganz genau.) In Tuqueres, nahe bei Cumbal unter dem Aequator, ist die Bestellzeit für die Gerste etwa am 1. Juni, die Zeit der Ernte Mitte November; die mittlere Temperatur dieser Vegetationszeit von 168 Tagen ist 10,7°. Zu Santa Fe de Bogata zählt man zwischen Aussaat und Ernte 122 Tage mit einer mittleren Temperatur von 14,7°. Für den ersten Ort erhält man eine Wärmemenge = 1798, für den zweiten Ort = 1793. Genauere Untersuchungen wie diese wurden mitgetheilt für Syringia vulgaris, Zuckerrohr, Weizen, Gerste u. s. w.[1]) Boussingault hat zuerst auf diese Verhältnisse aufmerksam gemacht, doch hat man bis jetzt nur vereinzelt ihnen Aufmerksamkeit geschenkt. Die Vegetation einer Gegend hängt also mit ab von der mittleren Temperatur ihrer Vegetationsperiode; es wird eine Pflanze darin gedeihen, wenn ihr das zur Entwicklung nöthige Wärmequantum in der Vegetationsperiode (bei uns also vom Frühjahr bis Herbst) geboten wird, es mag dasselbe nun auf einen längeren oder kürzeren Zeitraum (aber nur in der Vegetationsperiode) vertheilt sein. Sobald wie Temperaturen eintreten, welche der Pflanze schädlich sind, wird sie in ihrer Entwicklung gestört; so vertragen manche Pflanzen niedrige Temperaturen

---

[1]) Man findet solche Untersuchungen in Boussingault, die Landwirthschaft, Schleiden und Schmidt, Encyclopädie der Naturwissenschaften für Landwirthe, 3. Band (Schleiden).

nicht, und wenn solche während der Vegetationszeit eintreten, werden sie nicht gedeihen, wenn auch die mittlere Temperatur der Vegetationsperiode des Ortes das Wärmequantum liefert, welches ihre Entwicklung fordert. Grade so verhält es sich mit hohen Temperaturen. Demzufolge wird der Landwirth oder Gärtner, wenn er eine neue Pflanze einführen will, zuerst zu fragen haben, welche Wärmemenge die Pflanze zu ihrer Entwicklung bedarf, ob die mittlere Temperatur der Vegetationszeit des Ortes diese Wärmemenge aufzubringen vermag und ob sie die Temperaturschwankungen des Ortes verträgt. Freilich können Pflanzen sich auch acclimatisiren. Manche andere Pflanzen bedürfen für die einzelnen Perioden ihrer Entwicklung bestimmte Temperaturquantitäten, sie werden nur da fortkommen, wo ihren Bedürfnissen auch in dieser Hinsicht entsprochen wird. Als Beispiel will ich der Weinrebe erwähnen, welche die Traube nur da zur Reife bringt, wo im September und October die mittlere Temperatur eine gewisse Höhe hat; in England z. B. ist die mittlere Temperatur der ganzen Vegetationsperiode hinreichend, um der Weinrebe die bis zur Traubenreife nöthige Gesammtwärmemenge zu liefern; trotzdem aber entbehrt Albion eines „eigenen Gewächses", denn die Wärmemenge ist dort so vertheilt, daß die mittleren Temperaturen des September und October nicht genügen, um die Traube zur Reife zu bringen.

Unzweifelhaft hängen alle diese Verhältnisse von dem Einfluß der Temperatur auf die Diffusion im Boden und in der Pflanze ab. Man bedenke nur, daß die Diffusion der anorganischen Stoffe um so schneller von Statten geht, als die Temperatur, die auf sie einwirkt, höher ist; man sehe sich noch einmal meinen Versuch mit Oxalsäure bei verschiedenen Temperaturen in der ersten Abtheilung an: und man wird den mächtigen Einfluß der Temperatur auf die Einführung der anorganischen Stoffe in die Pflanzen und die Verbreitung dieser und der organischen durch die Pflanze begreifen. Bei der Oxalsäure traten aus gleichconcentrirten Lösungen in einer Stunde bei 32° C 26 Milligramme Säure mehr über als bei 20° und bei dieser Temperatur 18 Milligramme mehr als bei 13°. Da nun die Production von Pflanzenmasse oder die Entwicklung der Pflanze von der Gegenwart der anorganischen Stoffe abhängig ist und um so mehr anorganische Stoffe in die Pflanze eingeführt werden, als die Temperatur in dem Boden und in der Pflanze höher ist: so muß die Entwicklung der Pflanze in einem bestimmtem Verhältnisse zur Temperatur stehen. Bei niedriger Temperatur werden weniger anorganische Stoffe in die Pflanze eingeführt, und sie bedarf deshalb mehr Zeit zu ihrer Entwicklung, als wenn sie unter dem Einflusse einer höheren Temperatur steht, wo alsdann die anorganischen Stoffe in größerer Menge

in sie eintreten und diese und die organischen Stoffe sich schneller in ihr von einem Orte zum andern bewegen. Die Diffusionsbewegungen bedingen das Leben der Pflanze, je lebhafter diese sind, um so schneller vegetirt die Pflanze.

Es genügt das Gesagte vollständig, um im Allgemeinen die Beziehungen der oben erwähnten Vegetationsverhältnisse zu der Diffusion zu zeigen; eingehender die Sache zu behandeln, erlaubt das mangelhafte Material, sowol hinsichtlich der Beobachtungen über unsern Gegenstand, als auch in Bezug auf die Diffusion, noch nicht.

Ich habe schon einige Mal erwähnt, daß die Diffusionserscheinungen Wärme erzeugen, daß die Eigenwärme der Pflanze zum Theil mit abhängt von der Diffusion in ihr. Um dem Gesagten einen experimentellen Beweis zu geben, erinnere ich daran, daß ich bei meinen Diffusionsversuchen, welche meist nur Eine Stunde dauerten, die Temperatur in der Flüssigkeit der Membranröhre immer um 2° bis 4° höher fand als in der Flüssigkeit außerhalb, eine Temperaturerhöhung, die einzig und allein nur durch die Diffusion hervorgerufen werden konnte, da von keiner andern Seite eine höhere Temperatur einzuwirken vermochte. Wenn aber die Diffusion im Experimente wärmeerzeugend wirkt, dann muß sie es nothwendig auch in der Pflanze thun. Mit der Lebhaftigkeit der Diffusionsströmungen muß auch, wie leicht zu begreifen steht, die Wärmeerzeugung, das Freiwerden von Wärme, steigen.

Es blieb uns nun noch übrig, die Einwirkung der Temperatur auf den Boden und die Nahrungsflüssigkeit darin specieller zu besprechen; ich darf mich hier indeß kurz fassen, weil im Vorhergehenden dieser Gegenstand häufig genug schon berührt wurde.

Bei der Besprechung der Diffusion im Boden in der ersten Abtheilung habe ich auf den Einfluß der Temperatur auf die Capillarität des Bodens hingewiesen. Steigt die Temperatur im Boden, so verliert er an Capillarität, d. h. Zwischenräume von einer gewissen Größe, welche bei einer gewissen Temperatur noch capillarisch wirken, verlieren bei dem Steigen der Temperatur ihre Capillarität und damit das Wasser; bei nullnaher Temperatur ist die Capillarität am größten. Auf die Vegetation scheinen diese Vorgänge nur wenig einzuwirken, höchstens dürften sie bei einem nassen Boden, dem das Wasser aber nur durch Capillarität zugeführt wird, noch einigermaßen zu berücksichtigen sein, weil in diesem, bei dem Eintritte höherer Temperaturen weniger Zwischenräume capillar sind und der Luftzutritt erleichtert ist.

Mit dem Steigen der Temperatur nimmt die Hygroscopicität des Bodens ab, was schon wesentlicher als die Abnahme der Capillarität ist; denn dadurch werden von dem Boden weniger Gase und Wasserdunst aufgenommen.

Der Einfluß der Temperatur auf die Diffusion im Boden ist von besonderer Bedeutung, auch hier werden die Diffusionsbewegungen mit dem Fallen und Steigen der Temperatur schwächer oder stärker; wenn an irgend einem Orte im Boden das Gleichgewicht der gelösten Stoffe der Nahrungsflüssigkeit gestört wird, findet die Ausgleichung um so schneller statt, der Pflanzenwurzel werden die gelösten Stoffe um so schneller zugeführt, als die Temperatur höher ist. Das Wachsthum der Pflanze steht demnach auch in Beziehung zu der Temperatur des Bodens und der Nahrungsflüssigkeit: hat der Boden eine Temperatur unter Null, so liegt die Diffusion ganz darnieder, bei nullnahen Temperaturen werden die Nahrungsstoffe langsam, bei höheren Temperaturen schneller der Pflanzenwurzel zugeführt.

Auch die Zersetzung der humosen Stoffe, wodurch den im Boden ausgeschiedenen Nahrungsstoffen das lösende Agenz geliefert wird, die bei niedrigeren Temperaturen gering ist oder gar nicht vor sich geht, dürfte in Bezug auf die Pflanzenentwicklung zu berücksichtigen sein; die Zersetzung wird erst bedeutend bei 15° C, und es werden dann erst den Pflanzen die anorganischen Stoffe in größter Menge zugeführt. Hiermit im Zusammenhange stehen vielleicht manche Lebensprocesse in der Pflanze, über deren Ursache wir im Dunkeln sind. Wenn z. B. von Mitte Juni bis Mitte Juli Phosphorsäure in größter Menge in die Cerealien eintritt, wie dies aus Versuchen bekannt ist, so dürfte dies vielleicht auf der starken Kohlensäure-Entwicklung in dieser Periode beruhen, wo die hohe Temperatur den Humus stärker zersetzt, als das früher geschah. Die Phosphorsäure hat ja in der Kohlensäure ein mächtiges Lösungsmittel.

Dieses Capitel hat uns belehrt, wie mannigfach die Einwirkung der Temperatur auf die Pflanze und das Verhalten dieser gegen die Temperatur sein kein, und mit welcher Aufmerksamkeit wir die Verhältnisse und Lebensprocesse einer Pflanze zu studiren haben, um uns Aufklärung über die Beziehungen der Temperatur zur Pflanze verschaffen zu können.

Anhang.

Die Diffusion

in ihren Beziehungen zur Phytonomie.

„Der Druck der Atmosphäre hat einen entschiedenen Einfluß auf die Gestalt und das Leben der Gewächse. — — Die Pflanzen leben hauptsächlich an und durch ihre Oberfläche, daher ihre Abhängigkeit von dem umgebenden Medium. — — Eine Art Haut-Respiration ist eine thätige Lebensfunction der Gewächse; und diese Respiration, insofern sie Verdampfung, Ein- und Aushauchen von Flüssigkeiten ist, hängt vom Druck des Luftkreises ab. Daher sind die Alpenpflanzen aromatischer, daher sind sie behaarter, mit zahlreichen Ausdünstungs-Gefäßen besetzt; denn nach zoonomischen Erfahrungen entstehen Organe um so häufiger und bilden sich um so vollkommner aus; je leichter die Bedingungen zu ihren Functionen erfüllt sind; wie ich an einem andern Orte (Ueber die gereizte Muskel- und Nervenfaser, Bd. II. Seite 142—145) entwickelt habe."[1])

Mit diesen Worten hat uns A. v. Humboldt schon vor vielen Jahren in einen Kreis von Naturanschauungen hineingedrängt, welche in der Letztzeit erst aufgefaßt und allgemeiner begriffen wurden, Naturanschauungen, welche uns aber aus dem süßen und gemüthlichen teleologischen Traume zu einem harten Tagewerk erweckten. Die Natur arbeitet nicht nach einem gewissen Schöpfungsplane, in dem bestimmte Thier- und Pflanzenformen vorgezeichnet sind, sie gab nicht den Thieren und Pflanzen bestimmte Organe, damit durch diese das einmal geschaffene Sein sich erhalten könne, sie schuf überhaupt keine fertigen, abgeschlossenen Formen; diese sind aus den Einwirkungen der Außenwelt hervorgegangen, sie sind heute noch veränderlich. Die Natur gab nicht gewissen Pflanzen Haare und Drüsenhaare, damit sie auf den Alpen leben sollten, sondern gewisse, noch nackte Formen dieser Pflanzen kamen auf Alpen und in Folge des schwachen Luftdruckes hier bildeten sich die Oberhautzellen zu

[1]) Humboldt, Ansichten der Natur, 2. Bd. Ideen zu einer Physionomik der Gewächse. Anmerkung 14.

Haaren aus. Manche Pflanzengattung hat Species, die im Wasser leben, denen die Spaltöffnungen fehlen, und welche nicht verdunsten, während andere Species ihre Blätter in die Luft erheben, Spaltöffnungen haben und verdunsten. Die Natur hat aber nicht jene Species dazu geschaffen, um dem Wasser eine Vegetation zu geben, und diese nicht, um die Erde in Grün zu hüllen; sie sind alle Glieder einer Urform, hervorgegangen aus ihr. Die, welche durch Zufall das Wasser als Medium erhielten, bildeten sich allmählig zu Wasserpflanzen aus, andere, die auf dem Boden blieben oder dorthin gelangten, gestalteten sich zu Landpflanzen. Bei den letzteren bildete sich durch die Einwirkung der Luft auf der Oberfläche, auf der Außenseite der Oberhautzellen, Cuticula, wodurch die Verdunstung an der äußern Fläche der Pflanze verhindert wird, die hier aber an den Lufthöhlen im Innern stattfindet; bei den letzteren aber, weil sie im Wasser vor dem Einflusse der atmosphärischen Luft geschützt sind, erzeugen sich keine Cuticulabildungen auf der Außenseite der Oberhautzellen; diese bleiben mehr oder weniger permeabel und gestatten eine Diffusion zwischen der Pflanze und ihrem Medium. Auch die Bildung der Spaltöffnungen ist höchstwahrscheinlich eine Folge der Medien und äußerer Einwirkungen. Bei Zellenanhäufungen bilden sich, wie bekannt ist, Zwischenräume, die Intercellularräume; im jugendlichen Zustande der Pflanze oder des Pflanzentheiles sind diese mit Gasarten erfüllt, die in dem Stoffwechsel der Zellen ausgeschieden wurden, und in sie tritt aus den Zellen Wasserdunst ein. Befindet sich die junge Pflanze oder der junge Pflanzentheil in der Luft, so wirkt die äußere, die Lufttemperatur sehr leicht und schnell auf die Gase und den Wasserdunst in den Intercellularräumen ein, welche dadurch eine höhere Spannung annehmen, sich ausdehnen und den Intercellularraum (Luftgänge und Athemhöhlen) vergrößern und schließlich die Oberhaut durchbrechen, an welcher Stelle dann die Spaltöffnung entsteht. Im Wasser bleibt die Temperatur sich ziemlich gleich, schnelle Temperaturveränderungen durch äußere Einwirkung läßt das Wasser nicht zu; die Spannung, unter welcher die Gase und der Wasserdunst entstehen und in die Intercellularräume eintreten, verändert sich nur wenig; kurz ein schnelles Ausdehnen der Luft und des Wasserdunstes in den Intercellularräumen findet nicht statt und Spaltöffnungen können sich nicht bilden.[1]) So arbeitete

[1]) Um alle spätere, diese Ansicht anfechtende Erörterungen überflüssig zu machen, sei hier erklärt, daß diese Ansicht bis jetzt noch nicht so unterstützt werden konnte, um sie als haltbar bezeichnen zu dürfen. Ich habe dieselbe hauptsächlich deshalb hier benutzt, weil sie recht anschaulich die Einwirkungen der Außenwelt auf die Gestaltung der Pflanze zeigt. Vieles spricht für die Ansicht, Manches aber auch dagegen. So

die Natur überhaupt, so schuf sie die tausendfältigen Gestalten der organischen Welt. Lange und viele Generationen hindurch dauernde Einwirkungen verändern die Formen, und eine so gebildete Form kann sich so lange erhalten, als sie unter den Einwirkungen, welche sie erzeugten, verbleibt. Die Engländer haben jüngst diesem Erzeugungsgange der Thier- und Pflanzenformen die größte Aufmerksamkeit geschenkt. Charles Darwin [1]) hat ihn vorzüglich im Thierreiche verfolgt, während J. D. Hooker [2]) der Pflanzenwelt sich zuwandte. Auch die Pflanzenzelle unterliegt den äußern, d. h. mechanischen, physikalischen und chemischen Einwirkungen, diese bedingen der Zelle Gestalt, der Zelle Leben; nicht durch eine eigenthümliche, nur der Zelle innewohnende Kraft werden Leben und Gestalt bedingt. In der Erkenntniß solcher Bildungsacte der Natur werden wir grade bei der Pflanzenzelle und bei der Pflanze zunächst wol den größeren Fortschritt zu erwarten haben, weil sie hier am leichtesten zu verfolgen sind. Es ist nicht so unwahrscheinlich, daß, bei der Pflanze die Ueberzeugung von der Verwandlung der Formen, von dem Uebergange niederer Formen zu höheren zu gewinnen, in nicht so ferner Zeit liegt; will man doch schon häufiger die Verwandlung der Algen in höhere Cryptogamen beobachtet haben, und hat doch sogar die Haarlemer Akademie der Wissenschaften geglaubt, die Verwandlung niederer Pflanzen in höhere als Preisaufgabe stellen zu müssen! Professor Schaaffhausen in Bonn theilte jüngst der niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde die Beobachtung des Ueberganges einer Alge (Cladophora) in ein Laubmoos mit. Nach ihm hatte sich auf einem frischgebrochenen Stück Tuff, welches in einem reines Brunnenwasser enthaltenden und mit Watte geschlossenen Gefäße lag, nach einem halben Jahre ein dichter Ueberzug von Algenfäden gebildet, denen Protococcuszellen voraus gingen. Nachdem die

ließe sich ihr z. B. entgegenstellen, daß die Schließzellen schon vor den Spaltöffnungen da sind. Schon in der jungen Epidermis theilt sich eine Zelle und erzeugt Tochterzellen, welche später zu Schließzellen werden, indem die Mutterzelle resorbirt wird, die freien Tochterzellen auseinandergehen und einen Spalt zwischen sich bilden. Könnte aber die Theilung der Epidermialzelle nicht unter dem Einflusse eines unter ihr liegenden Luftraumes veranlaßt worden sein? wo dann bei günstiger Gelegenheit die Tochterzellen durch den Druck der Gase des Luftraumes auseinander gedrängt würden; oder tritt die Schließzellenbildung ein, ehe ein Luftraum zugegen ist? rc. Es giebt übrigens auch Spaltöffnungen ohne Schließzellen, wie bei Salvinia natans (Rhizocarpee, Cryptogame) und nach außen weit geöffneten Athemhöhlen, wie bei Fegatella conica, Preissia commutata, überhaupt bei den Marchantieen (Lebermoose).

[1]) Charles Darwin, Entstehung der Arten im Thier- und Pflanzenreiche (1860). Ist der Vorläufer eines großen und umfassenden Werkes.

[2]) J. D. Hooker, Die Flora Australiens.

Oberfläche des Steines durch Verdunsten des Wassers an die Luft gekommen war, begannen kleine Moospflänzchen sich zu erheben, welche etwa Ein Jahr nachher (zur Zeit der Mittheilung) blüthen. Durch mikroskopische Beobachtung will Schaaffhausen den Uebergang der Alge in das Laubmoos verfolgt haben. Die Algenfäden erscheinen als das Prothallium des Mooses; die cylindrischen Zellen der Alge werden kürzer, ihr Inhalt bräunt sich, in einer stärker anschwellenden Zelle beginnt eine Quertheilung, durch wiederholte Theilung ein Zellenhaufe, welcher Wurzelfäden treibt und aus welchem Stengel und Blätter des Mooses sich entwickeln. Wenn ich mich auch dem Glauben zuneige an den Uebergang niederer Pflanzenformen in höhere, so kann ich mich in diesem Falle doch eines Zweifels nicht erwehren; eine so schnell eintretende Verwandlung mit dem Uebergange in ein anderes Medium, aus dem Wasser in die Luft, ist so ganz wahrscheinlich nicht; so weit wie wir bis jetzt in die Sache eingedrungen sind, dürften wir wol annehmen, daß die Natur zu einer solchen Verwandlung langer Zeit bedarf; ehe die Zelle einer Alge ohne Zerstörung ihres Inhaltes, ohne Zugrundegehen ihrer selbst in eine verdunstende Mooszelle übergeht, wird die Natur viele vergeblichen Anstrengungen machen; unzählige Algen werden zu Grunde gehen, ehe es ihr gelingt, eine einzige zu höherer Form zu erheben; nur von Stufe zu Stufe vermag sie die Organismen höher zu führen, einen so großen Sprung aber, wie von der Alge zum Laubmoose, zwei Pflanzen, die in ihrer Organisation so sehr verschieden sind, wird sie, glaube ich, nicht thun. Uebrigens steht Schaaffhausen's Beobachtung so vereinzelt, da wir auf die alten derartigen Beobachtungen kein Gewicht legen dürfen, daß wir sie in einer so außerordentlich wichtigen Sache nur mit der größten Vorsicht aufnehmen dürfen.[1])

Für uns kann es nur ein Interesse haben, die Gestaltungs- und Lebensprocesse der Pflanze einzig in so weit zu verfolgen, als sie mit der Diffusion in Zusammenhang stehen; doch auch hier betreten wir ein weites, großes Feld, auf welchem aber so wenig noch vorgearbeitet ist, daß wir uns auf die Zelle beschränken müssen und selbst bei dieser uns

---

[1]) Wenn der Beobachter nicht ausdrücklich bemerkte, eine Cladophora gesehen zu haben, eine nur schwer zu verwechselnde Conservenform, so würde ich glauben, daß die ganze Sache auf einem Irrthume beruhe, daß confervenartig sich entwickelnde Moossporen für Algenfäden angesehen worden seien Es giebt nämlich Laubmoose, deren Sporen in ein confervenähnliches Gebilde (das Prothallium) übergehen, welches aus einzelnen Zellen durch fortwährende Zellentheilung Stengelchen und Blätter des Mooses treibt. Ganz ähnlich verhält sich die Ausbildung dieser fadenalgenähnlichen Moossporen, wie Schaaffhausen die Entwicklung seiner Alge beschreibt.

nur zu schüchternen Andeutungen versteigen dürfen. Unser Augenmerk muß sich vorzüglich auf das Wachsthum der Zelle, auf die Veränderungen der Membran (Verdickungsschichten) und auf die Form der Zellen zu richten haben. Von den intracellularen Bewegungen sind besonders die Strömungen im Protoplasma interessant, welche jedenfalls mit Diffusionsströmungen zusammenhängen, was bis jetzt aber noch nicht mit Bestimmtheit ausgesprochen werden kann. Mir hat es immer geschienen, als wenn sie von Diffusionsströmungen zwischen dem Zelleninhalte und dem Zellenkerne verursacht würden, was übrigens auch so unwahrscheinlich nicht ist, da der Zellenkern (höchstwahrscheinlich in jedem Falle) ein membranöses Körperchen ist, eine Membran besitzt, welche einen flüssigen, oft ganz hellen, oft mit körnigen Stoffen durchsetzten, Inhalt umschließt. — Wenig bekannt dürfte es sein, daß Garreau, dessen wir früher oft erwähnt haben, die Protoplasmaströmchen für membranöse Kanälchen (canaux) hält, welche von der Zellenmembran zu der Membran des Zellenkerns gehen, und in denen sich die in Bewegung erscheinenden Stoffe des Protoplasma bewegen sollen. (?) [1])

Das Wachsthum der Zelle.

Bei dem Wachsthume der Zellen sind zwei Momente als die wesentlichsten zu betrachten, nämlich die mechanische Ausdehnung, wodurch eine Vergrößerung des Hohlraumes der Zellen entsteht, und die Verdickung der Membranwand, die entweder durch eine Ablagerung neuer Zellstoffmassen auf die Innenseite der Membran oder durch Intussusception von Zellstoffmolecülen in die sich ausdehnende Membran hervorgerufen wird. Die Verdickung der Membran muß überhaupt eintreten, wo die Membran wächst; wo eine bloße Ausdehnung vorhanden ist, verdünnt sich die Membran, wo sie aber wächst, behält sie in der Regel ihre ursprüngliche Dicke. Die Ausdehnung ist ein rein mechanischer Act; vermehrt sich der Zelleninhalt, so muß sich nothwendig die Membran ausdehnen, um dem größeren Volum des Inhaltes zu genügen; dasselbe muß erfolgen, wenn die gelösten Stoffe des Zelleninhaltes fortwährend Wasser in die Zelle einführen; vorwaltend wird es die endosmotische Wasserströmung sein,

---

[1]) Garreau, Recherches expérimentales. 1. Sur la distribution des matières minerales etc.; 2. Sur la matières azotée des plantes et la circulation intracellulaire. (1849). Seite 48 u. f.

welche die Ausdehnung der Zelle verursacht. Dehnt sich die Zelle aus, ohne daß sich ihre Membran verdickt, ohne daß sich neue Zellstoffschichten auf die Innenseite derselben ablagern oder Zellstoffmolecüle in die Substanz der Membran eingeführt werden, so verdünnt sich diese immer mehr, wie wir dies bei Ulotrix zonata bereits schon gesehen haben, wo die Mutterzelle durch die Tochterzellen vieler Generationen ausgedehnt wird. Die Verdickung der Membran, wenn dieselbe durch Ablagerung neuer Zellstoffschichten herbeigeführt wird, ist nicht wesentlich verschieden von der Bildung der primären Membran aus dem Protoplasma, auch bei der Verdickung scheidet das Protoplasma in Zellstoff übergehende Stoffe auf seiner Oberfläche aus, die sich an die Innenfläche der Membran anlegen. Mechanische Ausdehnung ohne Verdickung sahen wir bei dem Pollen, welches in Wasser schnell Schläuche treibt, indem der Zelleninhalt desselben Wasser aufnimmt und drückend von innen nach außen wirkt; die Ausdehnung ist dann in der Regel so schnell, daß die Membran des Schlauches sich nicht verdicken kann und bei einem starken endosmotischen Strome leicht zerreißt; in dem Narbengewebe hingegen findet das Pollen eine concentrirte Flüssigkeit; die gelösten Stoffe des Polleninhaltes führen Wasser in die Pollenzelle ein, die gelösten Stoffe des Zelleninhaltes des Narbengewebes machen indeß auch wieder Wasser aus der Pollenzelle austreten, so daß nun die mechanische Ausdehnung nur langsam erfolgt und die Membran des Pollenschlauches Zeit hat sich gehörig zu verdicken — abgesehen davon, daß in diesem Falle die Pollenzelle von dem Narbengewebe ernährt wird und dadurch vielleicht erst die Stoffe, welche zur Verdickung der Membran nöthig sind, in größerer Menge gebildet werden.

Die Zelle wächst entweder gleichmäßig, d. h. sie vergrößert sich nach allen Seiten hin gleichmäßig, oder sie wächst nur an einzelnen Stellen ihrer Membran, was dann weiter wieder die Form der Zellen bedingt, worauf ich später zurückkommen werde. Es scheint, daß nur jene Stellen der Membran sich auszudehnen und gleichzeitig zu verdicken, also zu wachsen vermögen, durch welche Diffusionsströmungen gehen. In Zellenanhäufungen werden mit Luft oder festen Stoffen erfüllte Zwischenräume, die Intercellularräume, gebildet, und an diesen wird man die Membran der Zellen nie wachsen sehen, weil hier grade keine Diffusion zwischen den sich begrenzenden Zellen möglich ist. Man betrachte nur die Zellen des sternförmigen Parenchyms! Hier fällt es auf, daß nur jene Stellen der Membran wachsen, welche mit einer andern Zelle in Berührung stehen, nicht diejenigen Stellen, welche an den Intercellularräumen gelegen sind. Es würde dieser Umstand auf ein Wachsen durch Intussusception hin-

deuten, d. h. auf eine Zwischenlagerung gleichartiger Molecüle in die Membransubstanz, auf eine Einschiebung von Zellstoffmolecülen zwischen die Zellstoffmolecüle der primären Membran. Wir wissen übrigens ja, daß Molecüle von eiweißartigen Stoffen in die Molecularinterstitien permeabler Membrane einzudringen vermögen und sich dort absetzen, was ich in der ersten Abtheilung gezeigt; weshalb sollten nun nicht auch die Molecüle eines löslichen Kohlenhydrates, welches der Zellstoffmodification nahe steht, in die Molecularinterstitien der Zellenmembran eindringen können und hier in wirklichen Zellstoff übergehen? Indeß ließe sich auch wieder annehmen, daß die zellstoffbildenden Substanzen, was aber meinen früher mitgetheilten Versuchen mit Eiweiß widerspricht, sich inniger an solche Stellen der Membran anschmiegen, wo Diffusionsströmungen durchgehen, weil sie in exosmotischer Bewegung, welche aber durch die Membran aufgehalten wird, befindlich, g e g e n die innere Membranwand geführt werden, was dann da nicht der Fall sein würde, wo keine Diffusionsströmungen durch die Membran gehen. An solchen wachsenden Stellen kann die Membran durch Ablagerung neuer Schichten natürlich nicht an Dicke zunehmen, weil die Verdickung in der Ausdehnung aufgeht, durch Ausdehnung die Membran dünner wird. Der von innen nach außen wirkende Druck bedingt die mechanische Ausdehnung der Zelle; nun ist aber dieser Druck in einer Zelle auf allen Punkten ihrer Membran nach physikalischen Gesetzen gleich, was uns zur Frage drängt, weshalb denn nur gerade diejenigen Stellen sich ausdehnen, durch welche Diffusionsströmungen gehen; denn die Ausdehnung müßte doch nach allen Seiten gleich sein, da der Druck nach allen Seiten gleich stark ist. Durch die Ablagerung von Verdickungsschichten auf die innere Membranwand können wir uns Das nicht erklären. Unstreitig muß die Membran an den wachsenden Stellen eine Molecularveränderung erleiden, wodurch sie eine gewisse Plasticität, wie ich es nennen möchte, annimmt, wobei sie aber noch in einem gewissen Grade elastisch ist. Der Uebergangszustand der äußersten Protoplasma-Schicht einer entstehenden Zelle (P r i n g s h e i m's Hautschicht des Plasma) bei der Bildung der primären Membran dürfte dem Zustande der wachsenden Membranstellen entsprechen. Wenn wir annehmen, daß bei dem Wachsen sich neue Zellstoffschichten auf die innere Wand der primären Membran ablagern, so können wir den plastischen Zustand der wachsenden Stellen nicht gut erklären; das Wachsen setzt, wie gesagt, eine Veränderung in der Substanz der primären Membran an den wachsenden Stellen voraus, wodurch diese weit nachgiebiger gegen den von innen wirkenden Druck werden, als es die nicht wachsenden Stellen sind. Wenn man das Wachsen der Membran durch

Intussusceptionsvorgänge geschehen läßt, so ist die Sache viel leichter und natürlicher zu erklären. Der exosmotische Diffusionsstrom führt fortwährend gelöste Stoffe in die Molecularinterstitien ein, welche auch dort ausgeschieden werden können, wie uns von dem Eiweiß bei Collodiummembranen bekannt ist; ein gelöstes Kohlenhydrat oder ein anderer Stoff, welcher auf den fertigen Zellstoff einzuwirken vermag, giebt der Membran jene eigenthümliche Molecularbeschaffenheit, welche das Ausdehnen leicht möglich macht — ich denke mir, daß die Cellulose an diesen Stellen bei Zellen, welche sich von Haus aus berühren, nicht vollständig erhärtet ist, oder, wenn sie schon erhärtet war, wieder aufgeweicht wird, gleichzeitig müssen sich dann aber in der Membransubstanz immer neue Zellstoffmolecüle abscheiden, wodurch das wirkliche Wachsthum allein ja nur möglich ist. Vielleicht ist es eine Kohlenhydrat-Modification, die leicht in Zellstoff übergeht, welche in gelöstem Zustande in die Molecularinterstitien der Membran fortwährend eindringt und das vollständige Erhärten nicht zuläßt oder die erhärtete Zellstoffmasse wieder aufweicht, sie in jenen leicht ausdehnbaren, plastischen Zustand überführt; denn die mikrochemische Analyse zeigt uns bei solchen Membranen nur reinen Zellstoff. Für einen solchen eigenthümlichen Zustand in den wachsenden Membranen oder Membranstellen spricht das Wachsthum mancher Zellen, wobei an jenen Stellen, durch welche starke Diffusionsströmungen gehen, ein vollständiges Aufweichen der Membran, wenn ich mich so ausdrücken darf, und ein gänzliches Verschwinden derselben eintritt. Einen solchen Fall haben wir bei der Conjugation der Spyrogyren. Zwei Zellenfäden liegen nebeneinander, ohne sich grade fest zu berühren. Aus einer Zelle des einen Fadens gehen Diffusionsströmungen durch das Medium (Wasser), worin die Zellen liegen, in eine Zelle des anderen Fadens, jedenfalls hervorgerufen durch die chemische Verschiedenheit des Inhaltes der aufeinanderwirkenden Zellen; die beiden später sich copulirenden Zellen senden Fortsätze aus, die gegeneinanderwachsen und sich an einanderlegen; jetzt gehen also die Diffusionsströmungen direct aus einer Zelle in die andere durch die aneinandergeschmiegten Membrane, welche letztere aber bald an den sich berührenden Stellen aufweichen und resorbirt werden, so daß der Inhalt der einen Zelle sich in die andere Zelle ergießen kann. Hier haben wir also zuerst ein Wachsen der Membran an jenen Stellen, an welchen unstreitig die Diffusionsströmungen aus einer Zelle in die andere gehen. Die Ausdehnung der wachsenden Stellen läßt sich anders nicht erklären als durch eine Molecularveränderung der Membran an ihnen; denn geschähe dieses nicht, so würde sich hier die Elasticität ebenso verhalten wie an jedem andern Punkte der Zelle, und nur eine nach allen

Seiten hin gleiche Ausdehnung möglich sein, wenn der endosmotische Strom Stoffe in die Zelle einführt. Diese Veränderung der Membran hat ein vollständiges Aufweichen und Resorbirtwerden zur Folge. Dieselben Vorgänge finden wir bei allen andern Zellen wieder, deren Hohlräume ineinander übergehen, wie z. B. bei den Gefäßen. Eine starke Diffusionsströmung wird in den Pflanzen von unten nach oben geführt; Reihen von Cambiumzellen, durch welche diese Strömungen gehen, dehnen sich stark in die Länge aus, ihre Enden (Spitzen) werden gegeneinander gedrückt, wachsen vielleicht auch noch, und später werden die Querwände der aneinandergedrückten Zellen-Enden resorbirt. Also auch hier ein Verschwinden, Resorbirtwerden der Membranstellen, durch welche starke Diffusionsströmungen gehen.

Wir dürfen demnach wol mit einiger Bestimmtheit annehmen, daß dieselbe Molecularveränderung der Membran, welche, wenn sie in einem höheren Grade zugegen sind, die Resorption bedingt, auch das Wachsen begünstigt, daß dasselbe nur bei diesem Zustande der Membran möglich ist. Ich brauche wol kaum zu bemerken, daß dem Wachsen nicht immer eine Resorption folgen muß, es kann dies von der chemischen Beschaffenheit des Zelleninhaltes abhängen — die Gefäße enthalten vielleicht mehr des membranaufweichenden Stoffes als das Parenchym, welches sternförmige und drgl. Zellen bildet —; wahrscheinlicher indeß ist, daß die Stärke des ausdehnenden Druckes die Resorption verursacht — in den jungen Gefäßzellen ist dieser sehr stark, wie die große Ausdehnung beweist, schwächer in dem Parenchym. Ebenso darf es als sehr wahrscheinlich angenommen werden, daß das Wachsen u. s. w. eine Folge von Intussusceptionsvorgängen ist.

Verdickungsschichten.

Eine von dem Wachsthum der Zelle wesentlich verschiedene Sache ist die Ablagerung von Verdickungsschichten auf die innere Wand der Zellenmembran, wie wir sie bei Gefäßen, Holzzellen, verholzenden und Parenchymzellen finden, und welche eine wirkliche Zunahme der Membranwanddicke zur Folge haben. Eine klare Einsicht in diese Vorgänge haben wir nicht; jedenfalls aber sind wir deshalb nicht weit damit gekommen, weil wir den Diffusionserscheinungen zu wenig Rechnung getragen haben. Ich will darzuthun versuchen, daß die Verdickungsschichten auf der inneren Zellenmembran höchstwahrscheinlich nur Folge der Diffusion sind. Die abgelagerten Schichten bestehen gewöhnlich aus Zellstoff, der aber oft

mit anderen Stoffen untermischt ist, mit proteinartigen Stoffen oft in Holzzellen, mit pectinartigen bei Collenchymzellen, in dem letzten Falle tritt die Zellstoffreaction nicht rein auf. Ueberhaupt setzt die Ablagerung eine eigenthümliche Beschaffenheit des Zelleninhaltes, einen Reichthum an zellstoffbildenden Stoffen voraus; so sieht man z. B. viele Parenchymzellen keine Ablagerungen bilden, während andere ihre Membran bedeutend verdicken. Die abgelagerten Schichten selbst sind veränderlich, so verwandelt sich der Zellstoff der Verdickungsschichten in den Holzzellen und verholzenden Parenchymzellen in Holzstoff. Wenden wir uns zuerst zur Verdickung der Parenchymzellen.

In einem Conglomerat von mehr oder weniger rundlichen Zellen kann nicht in allen Punkten der Membran eine Berührung stattfinden; dehnen sich diese Zellen aus, so können nur gewisse Flächen der Membrane gegeneinandergedrückt werden, die sich nicht berührenden Stellen schließen dann Zwischenräume — Intercellularräume — ein, welche mit einem festen Stoffe oder mit Luft erfüllt sind. Die Zellen dehnen sich indeß auch oft so aus, daß sie jeden Raum zwischen sich ausfüllen und keine Zwischenräume entstehen. Mögen die Zwischenräume Luft oder Intercellularstoff enthalten, so können keine Diffusionsströmungen durch sie hindurch aus einer Zelle in die andere gehen; wollte man annehmen, die Intercellularsubstanz sei permeabel, so müssen die Diffusionsströmungen durch sie doch sehr schwach sein, besonders im Gegensatze zu den sich berührenden Membranstellen. Der Intercellularstoff ist im ganz jugendlichen Zustande der Zellen halbflüssig, er ist das Auflösungsproduct der untergegangenen Mutterzellen, aber in diesem Zustande kann er nur schwer diffundirend sein und wird die Diffusion so bedeutend hemmen, daß Diffusionsströmungen aus einer Zelle in die andere durch ihn hindurch sehr schwach sind. Wenn in Parenchymzellen Verdickungsschichten durch Ablagerung neuer Zellstoffmassen auf die innere Membranwand entstehen, so sind sie an denjenigen Membranstellen am stärksten entwickelt, welche an einen Intercellularraum grenzen, wo also keine oder nur schwache Diffusionsströmungen die Membran passiren. Oft haben diese Stellen bedeutende Verdickungen, während solche an den sich berührenden Stellen der Zellen, wo eine lebhafte Diffusion unterhalten wird, kaum oder gar nicht bemerkbar sind. Es tritt diese Erscheinung ausgeprägt hervor in den Blättern von Jungermannia anomala und anderen Lebermoosen.[1]) Die jüngsten Zellen haben dünnwandige Membrane; da, wo

---

[1]) Diese und die folgenden anatomischen Daten sind entlehnt aus Schacht's Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Gewächse. 1. Theil. Jungermannia anomala

die Ecken der Zellen aneinanderstoßen, legen sich die Membrane nicht dicht aneinander, es entstehen dadurch kleine Intercellularräume, welche eine Zwischenzellenmasse enthalten; die Diffusionsströmungen zwischen den sich begrenzenden Zellen sind hier aufgehoben oder schwach. Bei den älteren Zellen haben sich die Ecken, welche an die Intercellularräume grenzen, mit Zellstoffmassen ausgefüllt, es haben sich hier also diejenigen Stellen der Membran stark verdickt, wo die Diffusionsströmungen gehemmt sind, während die Verdickungen an jenen Stellen, wo die Membrane fest aneinandergedrückt sind, nur schwach blieben. Auffallender noch wie hier, zeigte diese Verhältnisse das sogenannte Merenchym, ein aus fast runden Zellen bestehendes Parenchym, mit Berührungsflächen von kleiner Ausdehnung und großen, meist lufterfüllten Intercellularräumen; nur an den Berührungsflächen sind die sonst stark entwickelten Verdickungsschichten durchbrochen. Die Ablagerung der Verdickungsschichten scheint demnach eine gewisse Ruhe in dem Zelleninhalte vorauszusetzen; an jenen Orten der Membran, wo starke Diffusionsströmungen durch sie hindurchtreten, bilden sie sich nicht. Ein in der ersten Abtheilung mitgetheilter Versuch mit einer Collodiummembran ist am meisten geeignet, die Sache klar zu machen, sie ad oculos zu demonstriren. Ich hatte die eine Fläche einer Collodiummembran doppelt so dick gemacht als die andere, so nämlich, daß die Membranröhre in der Längsrichtung eine dicke und eine, der dicken gegenüberstehende, dünne Hälfte hatte. Sie wurde mit Eiweißlösung gefüllt, geschlossen und in Wasser gebracht. Wie ebenfalls aus dem Früheren noch bekannt sein wird, scheidet sich aus einer Eiweißlösung, wenn sie sich mit Wasser mischt, eine schleimige, visköse Eiweißmodification aus. Als nun die Membranröhre einige Zeit mit Wasser in Berührung gewesen war und geöffnet (aufgeschnitten) wurde, so sah man, daß sich von jener Eiweißmodification nur auf die dickere Membranwand abgelagert hatte und als Häutchen abgezogen werden konnte, während auf der dünneren Membranwand nichts dergleichen bemerkbar war. Auch durch die dickere Membranwand gingen Diffusionsströmungen, diese mußten aber natürlich viel schwächer sein, als die der entgegenstehenden dünneren Wand. (Man vergleiche das über den Einfluß der Membrandicke auf die Diffusion in dem Capitel „Durchgangsfähigkeit“ Gesagte.) Verdickt man nur an einzelnen Stellen die Membran, so finden sich auch nur an diesen Stellen Ablagerungen ein. Es läßt sich sehr gut annehmen, daß an der dünneren Wand die sich ausscheidenden oder aus-

---

Seite 195, und Seite 115 über den Intercellularstoff zwischen den verdickten Ecken. Abbild. Tafel III. Figur 1—6.

geschiedenen Eiweißmolecüle durch den starken endosmotischen Diffusionsstrom des Wassers von der Innenseite der Membrane zurückgetrieben werden und sich nicht ansetzen können, daß sie sich da aber abzulagern vermögen, wo der endosmotische Strom nicht stark ist, oder wo er nur einen gewissen, niedrigen Grad von Stärke hat. Bei dünnwandigen Membranen beobachtete ich überhaupt nie Ablagerungen, dagegen habe ich sie bei allseitig dickwandigen häufiger gesehen. Dieselben Erscheinungen müssen nothwendig in der Zelle auch eintreten, wenn bei derselben gleiche Verhältnisse wie bei der Membranröhre zugegen sind: die Diffusion ist in der Pflanze denselben Gesetzen unterworfen, wie im Experimente. Wo die Zellenmembrane nicht dicht an einander gedrängt sind, wo sich zwischen ihnen eine schlechtdiffundirende oder wenig permeable Zwischenmasse findet, oder wo in den Intercellularräumen gar Luft enthalten ist, können nur schwache oder gar keine Diffusionsströmungen zwischen dem Inhalte der sich begrenzenden Zellen eintreten; in dem Zelleninhalte ist ein gelöstes Kohlenhydrat zugegen, welches leicht in Zellstoff übergeht, sich also aus seiner Lösung ausscheidet: die ausgeschiedenen, vielleicht in einem schleimigen, viskösen Zustand sich befindenden Zellstoffmolcüle lagern sich, wie in meinem Experimente das visköse Eiweiß, da ab, wo die schwächsten Diffusionsströmungen die Membrane passiren. Befinden sich in dem Zelleninhalte andere sich ausscheidende Stoffe, so werden diese gleichzeitig mit abgelagert, wie bei Pinus Pumilio proteinartige Stoffe.

Die Zellen des Endosperms von Phoenix dactylifera und anderen Palmen sind stark verdickt, die Verdickungsschichten aber von Kanälen durchbrochen; der Hohlraum eines Kanals der einen Zelle communicirt mit dem Hohlraume eines Kanals der angrenzenden Zelle, sie gehen aber nicht frei in einander über, sondern sind durch die Membrane der sich berührenden Zellen getrennt — Porenkanäle —, es correspondiren also in aneinanderliegenden Zellen die Verdickungsschichten und die Kanäle, welche die Verdickungsschichten durchbrechen. Auch hier konnten die Verdickungsschichten nicht anders entstehen, als durch schwache oder aufgehobene Diffusionsströmungen. Wodurch könnte aber bei Zellen, die sich so weitflächig berühren, grade an den sich berührenden Membranwänden die Diffusion gehemmt werden? Es mußte hier eine Ursache vorhanden sein, die sich an den ausgebildeten Zellen nicht mehr entdecken läßt, die bereits verschwunden ist. Es ist die Intercellularsubstanz in ihrem nichterhärteten Zustande. Wenn man mit Schacht die Entwicklung des Blattes von Jungermannia verfolgt, so zeigen sich schon die Intercellularräume der jüngsten Zellen mit Intercellularstoff erfüllt; wir erkannten, daß diese Zwischenmasse die Verdickungen in den Zellenecken innerhalb der

Zelle verursachte. Die Intercellularsubstanz ließ sich nun auch noch bei den älteren Zellen zwischen den Zellenverdickungen nachweisen. Aber auch zwischen den sich berührenden und wenigverdickenden Membranflächen ist Intercellularsubstanz zugegen, wenn auch in so äußerst dünner Lage, daß sie optisch nicht nachweisbar ist und sich nur durch das Aneinanderhaften der Zellen kundgiebt, welches durch chemische Mittel dadurch aufgehoben werden kann, daß die verklebende Intercellularsubstanz aufgelöst wird, die Zellen fallen dann auseinander. Wie gesagt, auch zwischen den sich wenig oder nicht verdickenden Parthien der Zellwand befindet sich Intercellularstoff, jedoch in so äußerst dünner Lage, daß die Diffusionsströmungen nur wenig oder gar nicht gehemmt wurden. Die Intercellularsubstanz ist überall, wo sich Zellen berühren, vertreten. Schacht hält sie, und hat das auch die meiste Wahrscheinlichkeit für sich, für die aufgelöste Membran der Mutterzelle. Bekanntlich entstehen die Parenchymzellen, Gefäße, Holzzellen u. s. w. aus Cambiumzellen oder aus Zellen eines sonstigen Bildungslagers. Die Cambiumzelle theilt ihren Inhalt und bildet zwei neue Zellen, welche wachsen und die Mutterzelle ausdehnen; bei der weiteren Ausbildung der Tochterzellen schwindet dann die Membran der Mutterzelle, sie wird aufgelöst und bildet das, was wir Intercellularstoff nennen. Anfänglich ist das Auflösungsproduct der Mutterzelle flüssig, halbflüssig, später erhärtet es. In einer Zusammenhäufung solcher Zellen (Tochterzellen) z. B. in einem Parenchym, pressen die Wände der sich berührenden und sich ausdehnenden Zellen gegeneinander, die noch halbflüssige Intercellularsubstanz wird mehr oder weniger zwischen den Wänden fortgepreßt und häuft sich da an, wo sie Platz findet; das ist nun vorzüglich in den Intercellularräumen der Fall, wo sich ja die Zellen nicht berühren; später erhärtet dann die Zwischenzellenmasse. Zwischen den sich berührenden Flächen bleibt, von der Stärke des Druckes und vielleicht anderen Ursachen abhängig oft mehr, oft nur so wenig zurück, daß nach dem Erhärten des Stoffes die Zellen eben nur aneinander geklebt sind und seine Gegenwart durch das Mikroskop nicht mehr nachzuweisen ist. Wo sie aber auch zwischen den sich berührenden Membranwänden so stark ist, daß sie gesehen werden kann, da fehlt sie doch an denjenigen Stellen zwischen den Membranen, wo Kanäle aus einer Zelle in die andere gehen, d. h. sie ist hier nur in äußerst dünner, nicht sichtbarer Schicht zugegen. Es entspricht in solchen Fällen den Verdickungsschichten in den Zellen eine stärkere Intercellularstoffschicht zwischen den Zellen, was uns wieder auf die Ursache der Verdickung hinweist.

Bei den ausgebildeten Endospermzellen der Phoenix dactylifera zeigt sich nun zwar die Intercellularsubstanz zwischen den sich berührenden

Membranwänden oft nur als zellentrennende Linie, oft ist sie gar nicht sichtbar; aber dennoch müssen die Verdickungsschichten Membranstellen entsprechen, welche früher eine geringere Permeabilität besaßen, als diejenigen Stellen, welche den Porenkanälen entsprechen. Denken wir uns diese verdickten Endospermzellen in ihrem jugendlichen Zustande, wo die gegeneinandergepreßten Membranflächen im Begriffe stehen, das zwischen ihnen befindliche Auflösungsproduct der Mutterzellen, die junge, noch halbflüssige Intercellularsubstanz fortzupressen; ehe Dieses nun vollständig gelungen ist, wird sich der flüssige Stoff an einzelnen Stellen zwischen den gegeneinandergepreßten Membranflächen anhäufen, an anderen Stellen wird er fortgepreßt, wie sich dies ja überhaupt bei Flüssigkeiten zeigt, die zwischen Flächen gepreßt werden; an den ersteren Stellen, weil das Auflösungsproduct der Mutterzelle ohne Zweifel schlecht diffundirend ist, sind die Diffusionsströmungen aus einer Zelle in die andere viel schwächer als an den letzteren, wo die Membrane dichtaneinander geschmiegt und durch die Zwischenzellenmasse nur verklebt sind; an jenen Stellen nun kann sich der ausscheidende Zellstoff in der Zelle auf die innere Wand der Membran ablagern und die Membran verdicken, an diesen nicht oder nur in einem weit geringeren Grade. Wird nun auch später die Zwischenzellenmasse gänzlich zwischen den Berührungsflächen fortgepreßt und nur auf die Intercellularräume eingeschränkt, so ist dann doch schon in den Membranen eine ungleichmäßige Dicke und daraus folgende ungleichmäßige Permeabilität vorhanden; an den verdickten Stellen lagert sich nun immer stärker die Zellstoffmasse ab und mit jeder neuen Schicht werden die Diffusionsströmungen schwächer, wird die Ablagerung stärker, bis schließlich die Membranwandparthie gänzlich impermeabel ist und stark verdickt. An den in der jugendlichen Zelle weniger oder nicht verdickten Membranparthien findet die Diffusion aus einer Zelle in die andere Statt, sie wir dort immer stärker, je mehr die Permeabilität an den anderen Wandparthien verloren geht, in Folge dessen verdicken sie sich später wenig nnd erscheinen als Porenkanäle in den Verdickungsschichten.

Ueberall, wo wir Porenkanäle antreffen, dürfen wir eine den Endospermzellen gleiche Entwicklung der Verdickungsschichten annehmen, mag sich nun bei den ausgebildeten Zellen die Intercellularsubstanz nachweisen lassen oder nicht. Von größter Bedeutung für meine Ansicht ist es aber, daß grade da, wo die Intercellularsubstanz im ganzen Umkreise der Zelle in späteren Lebensstadien noch optisch nachweisbar gefunden wird, sie dennoch zwischen den Blättern der Membrane an den Porenkanälen nicht wahrnehmbar ist.

Etwas anders verhält sich die Sache bei jenen Zellen, deren Verdickungsschichten wol von Porenkanälen durchbrochen sind, wo aber die correspondirenden Kanäle, wenigstens im ausgebildeten Zustande der Zelle, durch eine Luftblase getrennt sind, welche zwischen den Membranen der sich berührenden Zellen, da wo die Porenkanäle aufeinanderstoßen, liegt — die Zellen mit Tüpfelporen, wie die Holzzellen, getüpfelte Gefäße u. s. w. Der Tüpfelraum, der Hohlraum der Luftblase, ist im jugendlichen Zustande der Zelle mit einer dem Zelleninhalte ähnlichen Flüssigkeit erfüllt; erst später, wenn auch die Zellen selbst ihren flüssigen Inhalt verlieren und mit Luft erfüllt sind, zeigt der Tüpfelraum sich als Luftblase.[1]) Daß auch hier die Verdickungsschichten durch geringere Permeabilität der Membran gebildet werden, sind wir berechtigt anzunehmen. Schon bei dem ersten Auftreten der Holzzellen, noch ehe ihre Wandungen sich verdicken, ist der Tüpfelraum sichtbar; er ist alsdann mit einer wässerigen, granulöse Stoffe enthaltenden Flüssigkeit erfüllt; er hält die Membranflächen der sich berührenden Zellen auseinander. Wie die Flüssigkeit zwischen die Zellen gelangt, konnte bis jetzt nicht beobachtet werden; wahrscheinlich werden aus der jungen Zelle durch die noch dünnwandige Membran gewisse gelöste Stoffe, gelöste eiweißartige Substanzen und Kohlenhydrate mit Wasser, herausgepreßt, indem die Zellen sich ausdehnen und drückend auf ihren Inhalt wirken, ähnlich wie bei dem Frühjahrssaftstrome Flüssigkeiten aus den Cambiumzellen in die angrenzenden Gefäße hineingepreßt werden, Vorgänge, welche schon statt zu finden scheinen, noch ehe die jungen Holzzellen u. s. w. ihre Mutterzelle verlassen haben. Die im flüssigen Zustande zwischen die Zellen ergossenen Stoffe haben eine solche Beschaffenheit, daß sie nachher theilweise sich umwandeln, ausscheiden und granulöse Massen bilden. Es wäre ja gar nicht ungereimt, daß auch in dem Tüpfelraume oder in seinem Inhalte ein Stoffwechsel von Statten ginge, da ja aus der angrenzenden Zelle anorganische Stoffe in sie hineindiffundiren, und diese hier doch ebenso gut umgewandelt werden können wie in einer wirklichen Zelle. Auch zwischen den Holzzellen befindet sich eine Zwischenzellensubstanz — bei älteren Zellen sogar oft in zwei verschiedenen Modificationen. Aehnlich wie bei dem Parenchym, wird die flüssige Intercellularsubstanz auch bei den Holzzellen eine Verdrängung durch die sich ausdehnenden Zellen erleiden, sich an gewissen Stellen, in den Intercellularräumen vorzüglich, anhäufen;

---

[1]) Schacht, a. a. O. Seite 27.

aber auch kann zwischen den sich berührenden Zellen eine mehr oder weniger dicke Lage verbleiben. Wir wissen nicht, ob der Tüpfelraum in seinem ausgebildeten Zustande vor der Intercellularsubstanz zugegen ist, dürfen aber, die Entwicklung der Zellen verfolgend, annehmen, daß der Intercellularstoff, oder der Stoff, woraus er entsteht, früher zugegen ist, weil dieser ja das Auflösungsprodukt der Mutterzellen der Holzzellen ist. Sehen wir die Verdrängung des noch flüssigen Intercellularstoffes, so muß es uns auffallend erscheinen, daß die Flüssigkeit des Tüpfelraumes nicht ebenso verdrängt wird. Bei dem Tüpfelraume älterer Zellen findet man häufig eine eigene aus Zellstoff bestehende Auskleidung desselben, eine Membran um den Inhalt des Tüpfelraumes, die sich auf die Außenseite der Membrane der nebeneinanderliegenden Zellen abgelagert hat. Diese Membran, die sich jedenfalls aus dem Inhalte des Tüpfelraumes ausgeschieden hat, scheint überall, wo sich Tüpfelräume bilden, zugegen zu sein und den flüssigen Inhalt des Tüpfelraumes zusammen zu halten. Sie müßte sich aber schon früh bilden und zwar noch eh' die Zellen sich soweit ausgedehnt haben, daß ihre Wände stark drückend wirken. Diese eigene Membran des Tüpfelraumes besteht aus Zellstoff und ist sehr dünn. Es wäre Dies also die Bildung eines zellenähnlichen Gebildes zwischen Zellen; und weshalb sollte eine Membranbildung um den Inhalt des Tüpfelraumes, wenn derselbe die dazu nöthigen Stoffe enthält, nicht stattfinden können — es ist dies ja nur eine einfache Ausscheidung von Zellstoff. Man hat zwar bis jetzt in der Gesammtumhüllung des Tüpfelraumes durch chemische Behandlung keine Schichtung wahrnehmen können, welche die ursprüngliche Membran der Zellen und die eigene Membran des Tüpfelraumes erkennen ließe; indeß kommt es ja auch oft genug vor, daß unter chemischer Behandlung die inneren Verdickungsschichten und die primäre Membran sich nicht abgrenzen; zudem ist die eigene Membran des Tüpfelraumes auch zu wenig stofflich verschieden von der primären Membran, als daß man eine Schichtung erwarten dürfte. Bei vielen Holzzellen verwandelt sich die primäre Membran in eine Zwischenzellenmasse, sie wird gleichsam aufgelöst und dann erscheint der Tüpfelraum mit seiner eigenen Membran als ein selbstständiges, allseitig geschlossenes Säckchen zwischen den Verdickungsschichten an den aufeinanderstoßenden Porenkanälen. Vorläufig dürfte diese Erklärung der Tüpfelbildung festzuhalten sein, weil sie die ungezwungenste ist; sie dürfte als Gesichtspunkt späterer Untersuchungen zu betrachten sein. Schleiden läßt die Tüpfel durch eine Luftblase zwischen den jungen Zellen entstehen, was aber nach Schacht's Beobachtungen

nicht der Fall sein kann. Schacht hält die Tüpfelbildung für einen der Spyrogyra-Conjugation ähnlichen Vorgang; er glaubt, „daß wirklich eine Copulation zweier Zellen die Veranlassung zur Bildung des Tüpfelraumes liefert, während bald darauf eine neuentstandene Verdickungsschicht den anfangs offenen Kanal verschließt.“[1]) Es müßten demnach die primären Membrane der sich berührenden Zellen da, wo später der Tüpfelraum entsteht, resorbirt werden, um nämlich einen „offenen Kanal“ zu bilden; ich kann mir aber gar nicht denken, wie sich solche Löcher, der offene Kanal, wieder schließen sollen, wie sich Verdickungsschichten darüber hinweg legen könnten. Da wo man zwischen ausgebildeten Holzzellen Intercellularstofflagen findet, fehlen sie aber an dem Tüpfel; es wurde hier also der Intercellularstoff stärker verdrängt, oder, was viel wahrscheinlicher ist, er löste sich in der Flüssigkeit des Tüpfelraumes, noch ehe diese eine Membran abgeschieden hatte, auf, er wurde gleichsam darin vertheilt und erlitt hier andere Umänderungen als derjenige zwischen den Flächen der Zellenmembrane. Untersuchen wir nun, wie sich die Stärke der Diffusionsbewegungen an dem Tüpfelraume und an den übrigen Stellen der jungen Holzzellen verhält. An denjenigen Stellen, wo die Membrane sich berühren, gehen die Diffusionsströmungen durch die beiden Membrane der sich berührenden Zellen aus der einen in die andere, vielleicht noch gehemmt durch Zwischenzellenstoffmassen; an den Tüpfeln hingegen gehen sie aus der einen Zelle durch Eine Membran und durch die sehr dünne Membran des Tüpfelraumes in den Inhalt des letzteren über, von hier dann, ebenfalls die dünne Membran des Tüpfelraumes und die primäre Zellenmembran passirend, in die zweite Zelle. Der Tüpfelraum wirkt also gar nicht anders, als wie eine wirkliche Zelle, sein Inhalt diffundirt mit dem Inhalte der angrenzenden Zelle. Nun ist aber der Weg, den die Diffusionsströmungen durch Membrane zurückzulegen haben, weit kürzer am Tüpfelraum als an den anderen Stellen, weil an letzteren die zwei Membrane der Zellen und an dem ersteren nur die Eine Membran und die ganz dünne Membran des Tüpfels zu passiren sind, oder mit anderen Worten, die Gesammtdicke der Membran ist am Tüpfel geringer als an den anderen Stellen, was zur Folge hat, daß hier die Diffusionsströmungen schwächer sind wie dort. Hierzu kommt nun noch, es ist dies von ganz bedeutender Einwirkung, daß am Tüpfel die Membran des Tüpfelraumes und die Membran der Zelle zusammen-

[1]) Schacht, a. a. O. Seite 240.

hängend, ich möchte sagen, innig mit einander verschmolzen und zu einer einzigen Membran verwachsen sind, an jenen Stellen aber, wo die Zellen sich direct berühren, die Membrane nur aneinanderliegen und gar noch eine mehr oder weniger dicke Lage Intercellularsubstanz zwischen sich haben; unter jenen Verhältnissen geschieht die Membrandiffusion um Vieles leichter als unter diesen. Während sich nun Verdickungsschichten auf der inneren Wand der Holzzellen ablagern, bleiben die mit dem Tüpfel correspondirenden Stellen der Membran unverdickt oder verdicken sich nur in geringem Grade und bilden Porenkanäle in den Verdickungsschichten, welche die Diffusionswege für den Inhalt der sich berührenden Zellen sind, wobei die Diffusionsströmungen aber aus der einen Zelle in den Tüpfelraum und von hier in die andere Zelle gehen. Verschwindet der Inhalt der Zellen, so geht auch der Inhalt des Tüpfelraumes verloren, und die Diffusion hört auf.

An Zellen, wo sich Tüpfel bilden, können gleichzeitig auch Porenkanäle ohne Tüpfel entstehen, wenn nämlich die Zwischenzellenmasse an gewissen Stellen mehr verdrängt wird als an anderen und sich an diesen anhäuft, überhaupt, wenn die bei den Parenchymzellen mit Porenkanälen herrschenden Verhältnisse eintreten. Schacht fand nun auch wirklich bei einem verkieselten Coniferenholze beide nebeneinander — Porenkanäle mit Tüpfel und Porenkanäle ohne Tüpfel.[1] Schacht nimmt diese Erscheinung als eine Bestätigung seiner Ansicht über die Tüpfelbildung in Anspruch; ich glaube indeß, daß sie sich hierzu sehr wenig eignet — doch über Ansichten läßt sich nicht streiten, die ist immer die beste, welche den Verhältnissen am meisten entspricht und am wahrscheinlichsten ist.

Der Tüpfelraum und die Tüpfelkanäle sind bei den Holzzellen und bei vielen Gefäßzellen mehr oder weniger rund; es finden sich jedoch auch Zellen mit langgestreckten spaltenförmigen Tüpfeln, die oft wagerecht, oft etwas schief und dann spiralig gestellt sind, so bei den Holzzellen der Cycadeen und bei den Treppengefäßen. Die spaltenförmigen Tüpfelräume sind ohne Zweifel auf dieselbe Weise entstanden wie die runden, sie sind vielleicht in der Anlage rund gewesen und durch die Entwicklung der Zellen erst etwas in die Länge gezogen oder schief gestellt worden. Stellen wir uns vor, es habe sich Zellenflüssigkeit zwischen die sich berührenden Membranflächen junger Zellen ergossen und mit einer Membran umkleidet; wirken die Zellen nur schwachdrückend gegeneinander, so bleibt das Tüpfelbläschen rund, ist der Druck aber stärker, so muß dasselbe sich mehr

---

[1] Schacht, a. a. O. S. 231.

zwischen den Flächen ausdehnen, und zwar wird sich die Ausdehnung dorthin wenden, wo sie den wenigsten Widerstand findet, nämlich nach den Intercellularräumen hin, wo um diese Zeit die Intercellularsubstanz noch nicht erhärtet ist — also das Tüpfelbläschen streckt sich in horizontaler Richtung, d. h. in der Richtung des Querdurchschnitts der Zelle. Wächst die Zelle bei der horizontalen Ausdehnung des Tüpfelbläschens noch in die Länge, was bei den Treppengefäßen in einem geringen Grade geschieht und vielleicht auch bei den Holzzellen mit spaltenförmigen Tüpfeln, so muß das Tüpfelbläschen schief (auf den Querschnitt der Zelle) gestellt werden.

Der Gestalt des Tüpfelraumes entsprechen natürlich auch die Tüpfelkanäle, sind jene rund, so sind diese ebenfalls rund, und spaltenförmige Tüpfel haben auch solche Kanäle. Gewöhnlich sind die Tüpfel Einer Zelle oder Eines Gefäßes gleich gestaltet; doch kommt es auch zuweilen vor, daß die eine Seite runde, die andere spaltenförmige Tüpfel hat, wie in dem Gefäßbündel von Dracaena reflexa, gigantea, Alsophila. Es hängt Das mit der verschiedenen Einwirkung der angrenzenden Zellen zusammen; wo die Wand solcher ungleichtüpfeliger Zellen mit anderen Gefäßzellen in Berührung ist, bilden sich spaltenförmige Tüpfel, wo sie mit Parenchymzellen in Berührung steht, findet man kleine runde Tüpfel. Es zeigen solche Erscheinungen sehr entschieden, wie die Ausbildung der Zellen von der äußeren Umgebung abhängig ist, daß in den Zellen keine bestimmte Gestaltungskraft wohnt, welche ihnen ihre Form und Ausbildung aufzwängt. Möchte man das nur immer mehr berücksichtigen, wir würden bald einen tiefen Blick in das Leben der Pflanze gewonnen haben.

Die netzförmig verdickten Gefäße, wo meistens langgestreckte verdünnte Stellen, von horizontaler Richtung oder etwas schiefgestellt, in den Verdickungsschichten vorkommen, bilden ihre Verdickungsschichten auf dieselbe Weise wie die Parenchymzellen mit Porenkanälen; also dickere Lagen von Intercellularstoff zwischen den Wänden sich berührender Zellen schwächen die Diffusionsströmungen, in Folge dessen sich die Zellstoffmassen auf der inneren Wand, correspondirend den dickeren Intercellularstoffschichten, stärker ablagern, als an den permeableren Parthien. Was für jene Zellen früher gesagt wurde, gilt auch für diese. Zuweilen findet man Gefäßzellen, die auf der einen Seite, wo sie nämlich mit Gefäßzellen in Berührung stehen, Tüpfel besitzen, wohingegen die andere Seite, welche mit Parenchymzellen zusammentrifft, netzförmig verdickt ist.

Für die Entstehung der Ring- und Spiralgefäße wage ich es nicht, eine bestimmte Erklärung zu geben; jedenfalls aber dürften die Verdickungsschichten, die Ringe und Spiralbänder, nur auf schwächere Diffusionsströmungen zurückzuführen sein. Welche Ursache hier die Diffusion zu hemmen vermag, ist schwer einzusehen. Vielleicht ist die primäre Zellenmembran an den Verdickungsstellen von Hause aus stärker, dicker gewesen. Ueberhaupt dürfte es wahrscheinlich sein, daß die primäre Zellenmembran in ihrem ganzen Umfange nicht gleich dick ist, was ja bei der Entstehung durch Erhärten eines, aus dem Protoplasma sich ausscheidenden, schleimigflüssigen Stoffes fast nicht anders sein kann. Wahrscheinlicher als dieses ist eine spiralförmige oder ringförmige Verdünnung der primären Gefäßzellenmembran durch die bedeutende Ausdehnung dieser Zellen in der Längsaxe, indem durch die Ausdehnung eine, in spiralförmiger oder ringförmiger Richtung gehende Veränderung in der gegenseitigen Stellung der Membranmolecüle erzeugt wird, die den Diffusionsströmungen einen leichteren Durchgang gestattet, als er an den anderen Stellen der Membran, die natürlich auch ringförmig oder spiralförmig sein müssen, sein kann. Auch die langgestreckten Bastzellen haben spiralige Streifungen. Die veränderte Richtung der Spirale in den verschiedenen Schichten der verdickten Membranwand sprechen wol einigermaßen für die letzte Ansicht. Die spiral- und ringförmigen Verdickungen wären demnach unabhängig von der äußeren Begrenzung der Zellen, wie dies ja auch aus dem Nichtaufeinandertreffen der Spirale nebeneinanderliegender Zellen hervorgeht.

Die Gestalt der Zelle.

Die Gestalt der Zelle ist abhängig zunächst von ihrer Begrenzung und der Richtung der Diffusionsströmungen in ihr, welche letztere das Wachsthum zum gestaltbedingenden Momente machen; ob diesen Momenten auch noch eine der Zelle innewohnende, ihr eigenthümliche Gestaltungskraft beizuzählen ist, darüber zu entscheiden, muß ich dem Leser selbst überlassen. Ich werde nachher zeigen, daß es uns noch nicht gelingen will, alle Formerscheinungen bei der Pflanzenzelle auf physikalisch-mechanische oder chemische Ursachen zurückzuführen; viele Forscher nehmen deshalb der

Pflanzenzelle eigenthümliche Gestaltungskräfte, Formkräfte an; damit ist nun freilich Demjenigen in vollständigster Weise geholfen, welcher sich mit „eigenthümlichen Kräften", d. h. unbegriffenen und begriffslosen Dingen begnügt, damit ist aber auch dem Forschen eine Grenze gesteckt. Es fragt sich nun, ob der Naturforscher sich solche Grenzen stecken darf, besonders dann, wenn noch Aussicht vorhanden ist, physikalische Ursachen für Naturerscheinungen zu finden; ich für meinen Theil kann mich nicht zu solchen Dingen entschließen.

Entweder sind die neuentstehenden Zellen von ihrer ersten Anlage an rund, oder sie sind mehr oder weniger langgestreckt. Die von Geburt aus runden Zellen behalten indeß während ihrer weitern Entwicklung selten ihre runde Form bei, sie ändern sich in polyedrische, langgestreckte, sternförmige u. s. w. Gestalten um; von Geburt langgestreckte Zellen bleiben in der Regel langgestreckt, obgleich auch Beispiele bekannt sind, wo langgestreckte Zellen sich ausrunden, wie die Sporenschläuche mancher Pilze (Tuber cibarium). Zunächst haben die Zellen sich den räumlichen Verhältnissen zu unterordnen, ihre Form richtet sich eben nach diesen. Eine nach allen Seiten freie Zelle, nur von ihrer Nahrungsflüssigkeit umgeben, wird freilich ihre runde Form behalten; wenn aber eine Zelle in Berührung mit anderen tritt, wirken die Nachbarzellen auf ihre Form ein, wie wir dies z. B. recht schön bei der Sporen- und Pollenbildung sehen. Der Inhalt der Pollenkörner-Mutterzelle theilt sich in der Regel in vier Parthien, welche sich in Zellen umwandeln; wenn die Tochterzellen nun in der Mutterzelle wachsen und den Hohlraum derselben ausfüllen, müssen sie gegeneinandergedrückt werden und sich in Flächen abplatten; da wo die Tochterzellen aneinanderstoßen, bilden sich abgeplattete Flächen, hingegen da, wo sie die innere Wand der Mutterzelle berühren, behalten sie runde, convexe Flächen. Entläßt die Mutterzelle die Tochterzellen, so können diese sich wieder ausrunden, oft behalten sie aber auch mehr oder weniger die in der Mutterzelle empfangene Gestalt.

Wo rundliche Zellen zu einem Gewebe zusammentreten, drücken sie gegeneinander, wenn sie sich ausdehnen, und bilden vielflächige Gestalten, wird der Ausdehnung irgend ein Hinderniß in den Weg gesetzt. Die sich berührenden Flächen sind um so größer, als der Druck und die Ausdehnung stärker war, und um so kleiner sind dann die sich nicht berührenden Stellen der Zelle, welche die Intercellularräume bilden, wie im Parenchym der Rinde; in anderen parenchymatischen Geweben, wie z. B. im sogenannten Merenchym, im Parenchym an der Unterseite der meisten Blätter, sind die Zellen fast rund, die Berührungsflächen sind klein, die

Intercellularräume groß — es scheint, daß hier die sich ausdehnenden Zellen Platz fanden zur Ausdehnung. Wird in einem Gewebe der Ausdehnung mehr Widerstand entgegengesetzt nach der einen Richtung hin als nach der andern, so erfolgt die Ausdehnung dahin, wo sie den wenigsten Widerstand findet. Bei den meisten Pflanzen ist die Ausdehnung der Zellen in der Richtung des Radius des Stammes oder des Stengels nicht so leicht als in der Längsrichtung, vorzüglich in jungen, noch wachsenden Axentheilen; deshalb finden wir auch die Parenchymzellen in der Rinde etwas in die Länge gestreckt, deshalb dehnen sich die Cambiumzellen, welche sich zu Gefäßen umbilden, oft so bedeutend in der Längsrichtung aus und sind im jüngern Zustande in der Richtung der Peripherie des Stammes breiter als in der Richtung des Radius — plattgedrückt. Die Cambiumzellen grade sind am meisten geeignet, sich auszudehnen, weil ihr Inhalt durch seinen reichen Gehalt an gelösten eiweißartigen Stoffen viel Wasser aufnimmt und dadurch stark ausdehnend auf die Membran wirkt; zudem wird dem Cambium, wie aus dem Früheren bekannt ist, das Wasser direct zugeführt — alles Dies gilt von den Parenchymzellen der Rinde nicht, welche sich aus dieser Ursache auch nie stark ausdehnen. Die Bastzellen verhalten sich jedenfalls den Cambiumzellen gleich.

Interessant ist das Einstülpen der Tochterzellen von Spyrogyra an den Spitzen. In den langgestreckten Zellen des Fadens theilt sich der Inhalt quer, und es entstehen daraus zwei langgestreckte Tochterzellen, deren Enden (Spitzen) widereinanderliegen; die Tochterzellen wachsen, und ihre Enden, weil die Mutterzelle noch bestehen bleibt, drücken gegen einander und stülpen sich nach innen ein, d. h. jedes Ende stülpt sich in den Hohlraum seiner Zelle ein. Zerreißt später die Mutterzelle, so entfaltet sich das bisher eingestülpte Ende.

Kurz überall müssen die Zellen, wenn sie sich ausdehnen, ihre Form den räumlichen Verhältnissen anbequemen.

Die Gestalt der Zelle richtet sich weiter nach dem Wachsthume. Eine runde oder polyedrische Zelle, welche in ihrem ganzen Umfange zunimmt, wächst, bleibt rund oder polyedrisch; wachsen jedoch nur einzelne Stellen der Membran, so verändert sich die Gestalt je nach der Richtung des Wachsthums. Ich habe bei dem Capitel über das Zellenwachsthum des sternförmigen Parenchyms gedacht. Anfangs polyedrische Zellen wachsen an den sich berührenden Flächen und bilden eine sternförmige Gestalt. Die Oberhautzellen wachsen so gegeneinander, daß sie die Oberfläche vollständig schließen, d. h. (mit Ausnahme der Spalt-

öffnungen) keine Zwischenräume lassen, dabei bilden sich oft, von oben gesehen, ganz unregelmäßige Gestalten, wo die Ecken der einen Zelle in die unregelmäßig geformten Ausbuchtungen der andern Zelle hineingewachsen sind, wie bei Helleborus. Wie das Wachsthum der Zellen abhängig ist von der Richtung der Diffusionsströmungen, so ist auch die durch das Wachsthum bedingte Form davon abhängig. Bei dem sternförmigen Parenchym haben wir gesehen, daß allein nur jene Parthien der Zellenwand auswachsen, durch welche Diffusionsströmungen gehen; bei der Conjugation der Spyrogyren sehen wir nur an jenen Seiten der Zellen sich die Vorsprünge, Aussackungen erheben, wo die Diffusionsströmungen aus einer Zelle in die andere gehen. In der auswachsenden Zelle müssen die Strömungen auch auf den auswachsenden Punkt gerichtet sein; wo überhaupt Zellen auswachsen, mag das Wachsen an einzelnen Puncten einer polyedrischen Zelle oder an den Enden einer langgestreckten cylinderischen Stelle, oder nur an einem einzigen Punkte einer runden Zelle (Wurzelhaare, Gährungspilz-Vermehrung) geschehen, scheint die Richtung der Diffusionsströmungen die erste Veranlassung dazu gewesen zu sein.

Die Haare der Oberhautzellen und der Wurzel sind langgestreckte Ausstülpungen einer rundlichen oder flachrundlichen Zelle. Die Analogie dieser Wachsthumserscheinungen mit dem Wachsen einzelner Stellen der Membranwand sternförmiger Zellen und der Spyrogyrazelle bei der Copulation läßt uns wol zu der Vermuthung kommen, daß in der auswachsenden Zelle zuerst eine Saftströmung auf die auswachsende Stelle gerichtet ist, die in der Membransubstanz grade jene Veränderungen hervorruft, welche zum Wachsen nöthig sind, d. h. jener plastische Zustand, welcher dem von innen nach außen wirkenden Drucke leicht nachgiebt, ein Ausdehnen, das Wachsen leicht möglich macht. Bei den Oberhautzellen mag die Verdunstung, bei den Epiblemazellen die Diffusion die erste Veranlassung zu einer solchen Strömung sein. Diese Saftströmung führt der Membran diejenigen Stoffe zu, welche das Plastischwerden ihrer Substanz verursachen. In der einmal angelegten Ausstülpung müßte die Strömung immer auf die Spitze gerichtet sein; denn an dieser nur findet das Weiterwachsen, die Verlängerung statt. Ich erinnere daran, daß in den Wurzelhaaren und Oberhauthaaren die Strömungen in dem Protoplasma in der Regel von der Basis nach der Spitze und, hier umkehrend, wieder zurück nach der Basis gehen; ob die Protoplasmaströmungen mit den eben geschilderten Vorgängen in Zusammenhang stehen, muß ich vorläufig dahingestellt sein lassen. Dasselbe, was hier für Haarzellen

gesagt wurde, würde für alle anderen auswachsenden Zellen gelten können, so für den Gährungspilz, eine Zelle, welche an gewissen Stellen ihrer Membran zu einer neuen Zelle auswächst, für Caulerpa, eine einzellige Alge, welche blattartige Ausbreitungen treibt, und die immer nur unter der Spitze eines schon ausgebildeten Blattes neue Blätter auswachsen läßt.

Auch die Differenzirung der Gewebe ist mit zu den Formerscheinungen der Zelle zu rechnen. Durch fortwährende Zellentheilung der Keimanlage bildet sich ein Urparenchym. Gewisse Zellenpartbien des Urparenchyms strecken sich etwas in die Länge und sind mit einem an proteinartigen Stoffen reichen Inhalte versehen — das erste Cambium des jungen Keimpflänzchens. Die Längsausdehnung der zu Cambiumzellen werdenden Parenchymzellen entspricht jedenfalls der Richtung einer regen Diffusion, welche höchst wahrscheinlich durch die Stellung dieser Zellenparthien gegen die Nahrungsflüssigkeit, welche hier in dem Inhalte der parenchymatischen Zellen des Embryosackes besteht, bedingt wird. Am leichtesten würde man wol die Entwicklung des Cambiums an jenen cryptogamen Pflanzen verfolgen, welche ein centrales Cambium haben, z. B. bei den Moosen. Die Moosspore entwickelt sich zu einem zelligen Gebilde, in welchem einzelne Zellen durch lebhafte Inhaltstheilung sich zu einem knospenartigen Zellenhäufchen entwickeln. In diesen Knospen schon wird man jedenfalls die Differenzirung der Zellen in Cambium und Rindenparenchym beobachten können, wenigstens andedeutet finden. Was auf die in Cambiumzellen übergehenden Parenchymzellen der Knospe so einzuwirken vermag, daß durch sie die lebhaftesten Diffusionsströmungen gehen, ihnen die Nahrungsstoffe in reichlichster Menge zugeführt werden, und sie dadurch später allein nur der Zellenvermehrung dienen, ist mir nicht recht klar, daß dies aber eine physikalische oder mechanische Ursache hat, unterliegt keinem Zweifel; es kann das erst durch neue anatomische Untersuchungen, welche diesen Gegenstand grade zum Gesichtspunkte haben, aufgeklärt werden. Man kann sich die Sache z. B. sehr gut auf die folgende Weise vorstellen. Die Zellen des Umkreises der Knospe sind die ältesten, die Oberfläche des Zellenhaufens hat sich geschlossen, indem das Auflösungsproduct der Mutterzellen durch die Einwirkung des Mediums, der Luft, erhärtete und die Zellen des Umkreises mit einander verklebte. Die jüngsten Zellen befinden sich in der Mittelaxe des knospenartigen Zellenhaufens. Diese sind noch in einem hohen Grade permeabel; die älteren, nach außen liegenden Zellen hingegen verlieren zunächst durch Erhärten des Auflösungsproductes der Mutterzellen, dann aber durch Verdickung der Membran, wozu die Parenchymzellen der

Moose eine große Neigung besitzen, an Permeabilität. In der Mittelaxe des Zellenhaufens befinden sich also die permeabelsten Zellen, von der Mittelaxe zum äußern Umkreise nimmt die Permeabilität immer mehr ab. In den Zellen der Mittelaxe müssen nun die Diffusionsströmungen am lebhaftesten sein; ihnen grade werden dadurch die Nahrungsstoffe in reichlichster Menge zugeführt, in ihnen werden in größter Menge proteinartige Stoffe gebildet, welche Wasser in größerer Menge einführen und dadurch eine Ausdehnung veranlassen. Weil der Umkreis geschlossen ist, die Zellen des Umkreises fest mit einander verwachsen sind, kann die Ausdehnung leichter in der Längsrichtung der Knospe, in der Richtung der Mittelaxe, erfolgen als in der Richtung des Radius. Die Ausdehnung der Zellen mag auch von einem wirklichen Wachsthum in der Längsrichtung, also in der Richtung der lebhaften Diffusionsströmungen, begleitet sein. Die Ausdehnung in der Längsrichtung streckt den Zellenhaufen in die Länge; an der Spitze muß aber die Ausdehnung am freiesten sein, wodurch das beständige Fortwachsen derselben bedingt wird. Die Zellen der Mittelaxe, des jungen Cambiums, vermehren sich, in Folge dessen wird der Umkreis der Knospe vergrößert, die gestreckte Knospe wächst in der Dicke. An der Spitze ist die Ausdehnung der Zellen am größten, weil sie hier am leichtesten stattfinden kann, die Zellenvermehrung und der Stoffverbrauch am stärksten; der starke Stoffverbrauch hier entzieht den Cambiumzellen des unteren Theiles der Mittelaxe die Nahrungsstoffe, wo alsdann die Zellenvermehrung beschränkt wird; das Dickenwachsthum hört damit auf und die bleibenden Cambiumzellen dienen als Weg den nach dem Heerde der Zellenvermehrung an der Spitze gehenden Diffusionsströmungen. Die Knospe ist zum Stämmchen ausgewachsen. Die Cambiumzellen des Diffusionsweges verdicken sich oft in einem geringen Grade und zeigen zuweilen sogar, durch die Ausdehnung bedingt, spiralige Streifungen. In gewissen Zellen des Cambiums der jüngsten Axentheile häufen sich die Nahrungsstoffe so an, daß daselbst eine lebhafte Zellenvermehrung eintritt, welche das Cambium seitlich auswachsen macht und die Blattbildung veranlaßt; eine seitliche warzenförmige Erhebung des Cambiums ist die erste Anlage zum Blatte. Bei vielen Laubmoosen tritt das Cambium des Stengels in die Blätter ein und zeigt sich nach außen als Mittelnerv.

Der Cambiumring der höheren Pflanzen, welcher in seiner einfachen Form ein inneres Parenchym — Mark — von einem äußeren — Rinde — unterscheidet, findet sich zuerst bei Sphagnum — einem Laubmoose; die Umstände, wodurch er gebildet wird, werden sich bei Sphagnum am

besten entdecken lassen. Ueberall wo eine Differenzirung der Gewebe eintritt, ist sie die Folge örtlicher Verhältnisse; bei ihrem Ursprunge sind alle Gewebe gleich. Bei den eigentlichen Gefäßpflanzen ist die Entwicklung des Cambiumringes und der Gefäßbündel viel verwickelter, und es läßt sich bis jetzt noch gar nicht absehen, wodurch die Entwicklung und Lage bestimmt wird.

Die Bildung der Gefäße, das Uebergehen von Cambiumzellen in Gefäße, ist die Folge eines starken Diffusionsstromes, der die Stoffe von unten nach oben durch die Pflanze führt, und einer eigenthümlichen chemischen Beschaffenheit des Zelleninhaltes, welche die Auflösung der Zellenmembran an den sich berührenden Enden der gefäßbildenden Cambiumzellen ermöglicht und zur Abscheidung von Verdickungsschichten auf der innern Membranwand beiträgt. Zu Anfang der Vegetatiosperiode oder in der jungen, aus dem Keime hervorgewachsenen Pflanze sind die Cambiumzellen reich an proteinartigen Stoffen, welche viel Wasser in die Zellen eintreten machen und eine starke Ausdehnung in der Längsrichtung veranlassen. In denjenigen Zellenreihen des Cambiums, durch welche die lebhaftesten Diffusionsströmungen nach oben gehen, erleiden die gegeneinandergedrückten Zellenenden eine Aufweichung der Membran und Resorption derselben, wodurch die Hohlräume der Zellen in einander übergehen und in Gefäße verwandelt werden. Zu Anfang der Vegetationsperiode scheint die incrustirende Substanz in den Cambiumzellen noch wenig vertreten zu sein; denn bedeutende Ablagerungen finden noch nicht statt — es bilden sich die Spiralgefäße und Ringgefäße, welche immer die erstauftretenden Gefäße des Gefäßbündels sind. Wenn man die Entwicklung des Gefäßbündels in einer Terminalknospe verfolgt, so sieht man in dem tiefergelegenen Theile schon ausgebildete Gefäßzellen, während die höhergelegenen Zellen derselben Reihe noch in der Gefäßbildung begriffen sind; das Gefäß wächst in der Terminalknospe fort, indem beständig Cambiumzellen sich in Gefäßzellen verwandeln. Die Verlängerung der Pflanzentheile, das Wachsen in der Längsaxe ist hauptsächlich nur Folge der mechanischen Ausdehnung der Zellen, besonders der Spiralgefäße. Man sieht Das an der Verlängerung junger Zweige im Frühjahre; das sehr schnelle Wachsthum des Fruchtstiels der Lebermoose beruht allein nur auf der Ausdehnung der Zellen. In späteren Zeiten der Vegetationsperiode müssen diejenigen Stoffe, welche eine bedeutende Zuführung von Wasser veranlassen, wol zurücktreten und die incrustirende Substanz zunehmen; es verlängert sich der Theil nur wenig und schließlich fast gar nicht mehr; es bilden sich nun die netzförmig ver-

dickten, die Spalten- und Porengefäße und zuletzt die Holzgefäße aus, welche sich durch ihre Verdickungsschichten auszeichnen.

Auch früher hat man schon für die Bildung der Gefäße eine physikalische Ursache in Anspruch genommen, nämlich die Verdunstung. (Wenn ich nicht irre, war es Schleiden.) Die Gefäße sollten sich da aus dem Cambium entwickeln, wo die Verdunstung eine starke Wasserströmung durch die Zellen führt. Wenn man sieht, daß die Wasserpflanzen, die untergetauchten, welche gar keine, und die zum Theil sich auch in die Luft erhebenden, welche wegen der feuchten Atmosphäre nur eine schwache Verdunstung haben, keine oder nur schwach entwickelte Gefäße besitzen, wol aber einen Cambiumring und Cambiumbündel, so sollte man diese Annahme berechtigt finden; verfolgt man aber die Entwicklung der Gefäße unter der Terminalknospe, wo doch eigentlich von einer Verdunstung nicht die Rede sein kann, und sieht man, daß schon in dem Keime der Eiche, Kastanie, Wallnuß, Mistel u. s. w. vor der Keimung Gefäße im Cambiumbündel entstehen, so darf man ihre Entstehung doch nur Diffusionsströmungen zuschreiben, welche nicht von der Verdunstung hervorgerufen werden, es sind die Diffusionsströmungen der gelösten Stoffe.

Wenn den Wasserpflanzen die Gefäße mehr oder weniger fehlen, so könnte Dies wol in dem Mangel einer starken Diffusionsströmung in der Längsaxe der Pflanze begründet sein; denn da bei diesen Pflanzen die Blätter, mögen sie nun ganz untergetaucht sein oder nur mit einer Fläche das Wasser berühren, vielleicht sogar die Stengel der Aufnahme flüssiger Stoffe dienen, durch sie auch mithin Diffusionsströmungen aus dem Wasser in die Pflanze gehen, so muß das Cambium nicht unbedeutende seitliche Strömungen haben, die eine mächtige Diffusionsströmung in der Längsaxe der Pflanze nicht zu Stande kommen lassen, sogar ganz überflüssig machen, weil hier die Nahrungsstoffe dem Cambium von allen Seiten zugeführt werden und nicht, wie bei den Landpflanzen, bloß von der Wurzel aus, von wo sie sich dann durch das Cambium nach den Sitzen der Zellenvermehrung und des Stoffverbrauchs, vorzüglich in den Endorganen, bewegen müssen. Auch scheint es, daß sich in den Cambiumzellen der Wasserpflanzen die incrustirenden Stoffe nur in sehr geringer Menge bilden. Der in feuchtem Buchenhumus sich entwickelnde Stengel von Epipogum Gmelini, dessen ganze Oberfläche mehr oder weniger der Aufnahme flüssiger Nahrungsstoffe dienen muß, hat ein centrales Gefäßbündel ohne eine Spur von Gefäßen; entwickelt sich aus ihm aber ein Blüthenschaft, der sich über die Erde erhebt, so gehen die Diffusions-

strömungen aus der Basis des Blüthenschaftes zur Spitze desselben und entwickeln auf ihrem Wege durch das Cambium Gefäße (Spiralgefäße). Gleiches würde man jedenfalls auch bei Wasserpflanzen finden, deren Blüthenstengel sich in die Luft erhebt.

Ein anderes Element des Gefäßbündels ist die Bastzelle, eine meist langgestreckte Zelle, mit oft verdickter, oft unverdickter Membran, und deren Entstehung meistens direct, zuweilen auch indirect (secundäre Bastzellen) dem Cambium angehört. Ihre Längsstreckung verdankt sie zum größten Theile dem Wachsthum — der mechanischen Ausdehnung und der Intussusception der Membran an den Zellenenden. Auch die Bastzelle scheint, wie die Gefäßzelle und das Cambium überhaupt, mit der Nahrungsflüssigkeit in directem Verkehr zu stehen, es ließe sich sonst ihre Ernährung und ihre Entwicklung nicht erklären, besonders da, wo eine einzelne Bastzellenreihe, wie ein Milchsaftgefäß [1]), ganz von Parenchymzellen umgeben ist. Ihre Längsausstreckung, welche oft über Ein Fuß hinausgeht, setzt einen starken und anhaltenden Druck voraus, welcher nur bei Gegenwart von Proteinsubstanzen und reichlicher Wasseraufnahme eintreten kann. Beides würde aber nur dann zugegen sein können, wenn die Zellen mit der Nahrungsflüssigkeit in Zusammenhang stehen; eine Zuführung der proteinbildenden Stoffe und des Wassers in so reichlicher Menge aus dem umgebenden Parenchym kann man nicht annehmen — wäre dies wirklich der Fall, wären die genannten Stoffe in solcher Menge in den Zellen des Parenchyms vorhanden, so würden sie hier auch ihre Gegenwart durch Ausdehnung der Zellen u. s. w. kundgeben, was aber eben nicht geschieht. Es wachsen die Bastzellen an ihren Enden fort, indem durch Diffusionsströmungen, welche von unten nach oben durch die Pflanze gehen, der Membran an den wachsenden Stellen die dazu nöthigen Stoffe zugeführt werden; indeß würde das Wachsthum, vorzüglich bei den sehr langgestreckten Bastzellen, nicht so auffallend stark sein, wenn der Druck hier nicht ein mächtiger wäre, wenn die Zellen nicht viel von wassereinführenden Stoffen enthielten und nicht mit einer reichen Wasserquelle in Verbindung ständen. Wir finden auch Parenchymzellen, welche wachsen, sich dabei aber nicht bedeutend zu strecken vermögen, weil hierzu der Druck ihres Inhaltes nicht stark genug ist, weil ihnen das Wasser nicht in reichlicher Menge zugeführt wird.

---

[1]) Schacht hat nachgewiesen, daß die sogenannten Milchsaftgefäße echte Bastzellen sind. S. a. a. O. Seite 245—265.

Auffallend bei den Bastzellen ist ihre Verzweigung; sie scheint dadurch einzutreten, daß an einer gewissen Stelle der unverzweigten Zelle starke Diffusionsströmungen aus ihr in eine anliegende Parenchymzelle, welche vielleicht fest anliegt oder die auf irgend eine andere Weise die Diffusion begünstigt, gehen und die Membran an dieser Stelle in denjenigen Zustand versetzten, welcher das Wachsen begünstigt; es wird der Druck des Bastzelleninhaltes hier ebenso wirken, wie an den Membranparthien der Zellenenden; er wird zunächst eine Aussackung treiben, ähnlich wie bei der Spyrogyrenconjugation, die darauf, immer weiter fortwachsend, einen Zweig bildet. Nach allen Seiten und höchst unregelmäßig zweigetreibende Bastzellen, die aber meist kurz sind, findet man zuweilen zerstreut in dem Parenchym der Rinde, wie bei Abies pectinata: diese werden nicht mit der Nahrungsflüssigkeit in directem Verkehr stehen.

Nach oben verlieren sich die Bastzellen im Urparenchym der Endknospe und in dem Parenchym der Blätter, an welch letzterem Orte die Verzweigung oft stark hervortritt, besonders bei den sogenannten Milchsaftgefäßen. Die Bildungsthätigkeit der Bastzellen ist jedenfalls abhängig von ihrer Umgebung: die eine verdickt sich durch Ablagerung von Zellstoffmassen auf die innere Wand, verholzt und führt Luft; andere verdicken sich ohne zu verholzen, wieder andere verdicken sich nicht und führen beständig Saft, der oft eine ganz eigenthümliche Beschaffenheit besitzt — Milchsaft. Bei der Milchsaftbildung scheint besonders das die Bastzelle umgebende Parenchym von besonderer Bedeutung zu sein.

Wie alle sich stark ausdehnenden Zellen spiralige Verdickungen und spiralige Streifung besitzen, so finden wir dies auch bei den langgestreckten Bastzellen wieder.

Die Zellenvermehrung im Cambium hat einige Eigenthümlichkeiten, die noch unsere Aufmerksamkeit verdienen. Bei manchen Bäumen theilt sich in denjenigen Zellenreihen des Cambiums, welche den Holzzellen anliegen, der Zelleninhalt in der Längsaxe der Pflanze und bildet von ihrer ersten Entstehung an langgestreckte Zellen; in denjenigen Zellenparthien aber, welche von dem Parenchym begrenzt werden, theilt sich der Inhalt quer, und es entstehen kurze Zellen. Diese Eigenthümlichkeit ist jedenfalls in der Richtung und Stärke der Diffusionsströmungen begründet. Die Holzzellen veranlassen keine oder nur schwache seitliche Diffusionsströmungen in den sie begrenzenden Cambiumzellen, die stärkste Strömung geht in der Längsrichtung, was auch eine Theilung des Inhaltes in der Längsrichtung zur Folge hat; stärkere seitliche Strömungen finden in den Cambiumzellen Statt, welche an dem Parenchym liegen,

und hier ist die Theilung quer. Ueberhaupt dürfte es wahrscheinlich sein, daß die Theilung des Zelleninhaltes im Cambium in der Längsrichtung geschieht, wo eine starke Diffusionsströmung von unten nach oben durch die Zelle geht; wo die Diffusionsströmung in dieser Richtung aus irgend einer Ursache schwach ist oder seitliche Strömungen zugegen sind, eine Quertheilung des Inhaltes eintritt. Die Bastzellen z. B. entstehen auch durch Längstheilung des Inhaltes einer Cambiumzelle.

Reich ist diese Materie, sie läßt sich indeß bis jetzt wenig ausbeuten, weil die bisherigen anatomischen Untersuchungen diese Sache gar nicht zum Gesichtspunkt hatten. Ich konnte hier freilich nur allgemeine Andeutungen geben; möchte es diesen gelungen sein, die Aufmerksamkeit der Pflanzenanatomen einem ebenso interessanten, als wichtigen Gegenstande zuzulenken!

Nachträge und Ergänzungen.

(Die Reihenfolge der Nachträge und Ergänzungen ist die der Capitel des Textes.)

Die Membrandiffusion.

I. Nachtrag zu Seite 26.

Geschichtliches der Membrandiffusion. Zuletzt beschäftigte sich mit unserem Gegenstande Traugott Walter Krug.

„Nonnulla de theoria endosmoseos et de aequivalente endosmotico concentratione mutata.“ Dissertatio inauguralis physiologica. Leipzig 1860.

Die Bedingungen vergleichender Versuche.

II. Ergänzung zu Seite 37.

Die Veränderung der Membran meines Apparates, welche durch Zusammenziehung derselben mit Verkleinerung ihrer Oberfläche und Verdichtung ihrer Substanz hervorgerufen werden könnte, braucht man gar nicht zu befürchten, wenn die Membranröhre, ehe sie zu Versuchen verwendet wird, einige Tage in Wasser blieb und sie vor und nach den Versuchen nie längere Zeit (nie länger als 2—4 Minuten) außerhalb Wasser oder wässriger Lösung bleibt.

Diffusion zwischen verschiedenartigen Lösungen.

III. Nachtrag zu Seite 57. Schluß des Capitels.

Schulz-Fleth. Erst nach Abfertigung des Manuscriptes war es mir möglich, die Diffusionsversuche Schulz-Fleth's aufzusuchen, die, wenn auch an und für sich nicht von besonderer Wichtigkeit, doch für uns ein historisches Interesse haben, weil Schulz-Fleth durch sie zu den auf Seite 110 berührten Ansichten über die Aufnahme der anorganischen Stoffe in die Pflanze geführt wurde; ich will deshalb einige von den fünf am unten angeführten Orte[1]) mitgetheilten Versuchen hier folgen

[1]) Poggendorff's Annalen, Band 88. Schulz-Fleth: „Ueber die Aufnahme der unorganischen Salze in die Pflanze.“

lassen, und zwar den 2. und 3., die übrigen sind nicht wesentlich verschieden.

Schulz-Fleth's Apparat bestand aus einer Glasröhre, die an dem einen Ende mit einem Stück Schweineblase verschlossen war, die Lösung eines oder mehrerer Salze u. s. w. enthielt, und in eine andere Lösung hineingesetzt wurde.

2. Versuch. Die äußere Lösung bestand aus 101,5 Grm. Wasser, 1,312 Grm. Chlornatrium und 0,886 Grm. schwefelsaurem Kali. Das Chlornatrium bildete mit dem Wasser eine Lösung von 1,3 %. In diese Lösung wurden zwei Glasröhren eingetaucht.

Röhre I. enthielt 0,289 Gr. Chlornatrium in 2,466 Gr. Wasser gelöst, was einer Concentration von 11,8 % entspricht.

Röhre II. enthielt 0,262 Gr. Chlornatrium in 2,097 Gr. Wasser gelöst, was einer Concentration von 12,5 % entspricht.

Nach 3 Tagen enthielt Röhre I.

0,074 Gr. Chlornatrium, 0,024 Gr. schwefels. Kali u. 2,726 Gr. Wasser.

Zu Anfang des Versuchs enthielt die Lösung in der Röhre 11,8 % Chlornatrium, die Lösung außerhalb 1,3 %. Das Streben nach Gleichgewicht führte Chlornatrium aus der concentrirteren Lösung der Röhre in die minderconcentrirte Lösung außerhalb und zwar 0,215 Gr. Von dem schwefelsauren Kali der äußern Lösung diffundirten in die Röhre, welche zu Anfang des Versuches nichts von diesem Salze enthielt, 0,24 Gr. Das Wasser in der Röhre hatte um 0,26 Gr. zugenommen; es war mithin gegen das aus der Röhre austretende Chlornatrium mehr Wasser in die Röhre eingetreten, als gegen das in die Röhre hineindiffundirende schwefelsaure Kali Wasser aus der Röhre austrat.

Nach 8 Tagen enthielt Röhre II.

0,043 Gr. Chlornatrium, 0,0229 Gr. schwefels. Kali u. 2,329 Gr. Wasser.

Die Ausgleichungsverhältnisse waren hier dieselben wie bei Röhre I. Gleichgewicht war in beiden Röhren noch nicht eingetreten.

3. Versuch. 25 Theile Chlornatrium und 24 Theile schwefelsaures Kali wurden in Wasser gelöst und in diese Flüssigkeit 2 Röhren hineingesetzt.

Röhre I. enthielt Zucker, 0,016 Gr. Chlornatrium u. 1,473 Gr. Wasser
Röhre II. — — , 0,019 — — — 1,737 — —

Röhre I. enthielt mehr Zucker als Röhre II. In Bezug auf Chlornatrium waren die Lösungen in der Röhre und außerhalb alle gleichconcentrirt.

Nach 4 Tagen enthielt Röhre I.

0,026 Gr. Chlornatrium, 0,014 schwefelsaures Kali.

Nach 7 Tagen enthielt Röhre II.

0,027 Gr. Chlornatrium, 0,014 Gr. schwefels. Kali und 2,312 Gr. Wasser.

Zu Anfang des Versuches waren die Lösungen innerhalb und außerhalb der Röhren in Bezug auf Chlornatrium im Gleichgewicht; wir sehen jedoch während des Versuches noch Chlornatrium in die Röhren eintreten und zwar in Röhre I. 0,010 und in Röhre II. 0,008 Gr.; diese Erscheinung beruht darin, daß der Zucker in den Röhren Wasser in dieselben einführt, wodurch die Chlornatriumlösung in den Röhren verdünnt und in der äußeren Flüssigkeit durch Wasserverlust concentrirter und das Gleichgewicht zwischen innen und außen gestört wird; es müssen in Folge dessen aus der äußeren concentrirteren Lösung neue Mengen Chlornatrium in die minderconcentrirtere Lösung innerhalb der Röhren eintreten und zwar bei Röhre I., welche am meisten Zucker enthält und am meisten Wasser einführt, eine größere Menge als bei Röhre II.

Aufnahme und Ausscheidung gasförmiger Stoffe durch die Blätter.

IV. Nachtrag zu Seite 108.

Knop's Verdunstungsversuch mit Zwergbohnen.[1]) Die Blätter nehmen aus einer gesättigten Atmosphäre keinen Wasserdunst auf. Ein Bohnenpflänzchen, welches in destillirtem Wasser gekeimt hatte, wurde mit dem Würzelchen in eine Flasche mit Brunnenwasser gebracht und zwar so, daß das durch die Blätter verdunstende Wasser genau bestimmt werden konnte. In der folgenden Tabelle habe ich die uns interessirenden Daten aus einer größeren Beobachtungsreihe zusammengestellt. Die in der Tabelle befindlichen Daten gehören einer Entwickelungsperiode des Versuchspflänzchens an, wo dasselbe außer den eintrocknenden Kotyledonen zwei Blätter besaß. Columne A enthält die Beobachtungstage — September 1858 —; B die Tageszeit, Morgens zwischen 7 und 8 Uhr (M), Nachmittags zwischen 1 und 2 Uhr (N) und Abends zwischen 10 und 11 Uhr (A); C die Temperatur der Luft; D der relative Feuchtigkeitsgehalt der Luft, die vollkommen mit Feuchtigkeit gesättigte Luft gleich 100 gesetzt; E Menge Wasser in Grammen, welche durch das Pflänzchen von M des einen Tages bis M des darauf folgenden Tages verdunstete, z. B. ist die Zahl vom 13. September das Resultat der Bestimmung (Wägung) vom 14. des Morgens. Zwei Tage lang wurde die Pflanze unter eine mit Wasser gesperrte Glasglocke gesetzt, deren Atmosphäre mit Feuchtigkeit gesättigt war. Die Zahlen

[1]) Die landwirthschaftlichen Versuchsstationen, Heft 3. Knop, Ein Vegetationsversuch. Seite 189.

dieser beiden Tage interessiren uns allein nur; besseren Verständnisses halber muß ich indeß auch die Zahlen für einige andere Tage mit in der Tabelle aufführen.

A		B	C	D	E
13.	Pflanze unter gewöhnl. Lichtverhältn.	M			7,41
		N	18,2°	68,7	
		A			
14.	Pflanze in der Sonne	M	14,2°	76,2	5,09
		N	20,8°	58,2	
		A	16,6°	71,0	
15.	Pflanze unter der Glasglocke . .	M	16,2°	100	0,25
		N	18,4°	100	
		A	17,0°	100	
16.	Pflanze in der Sonne	M	16,5°	67,8	4,37
		N	18,4°	53,6	
		A	17,0°	71,2	
17.	Pflanze unter der Glasglocke . .	M	15,0°	100	0,15
		N	18,8°	100	
		A	17,2°	100	
18.	Pflanze unter gewöhnl. Lichtverhältn.	M	15,4°	65,4	2,75
		N	17,0°	67,4	
		A	16,4°	73,0	

Hätten die Blätter am 15. und 17. aus der mit Feuchtigkeit gesättigten Atmosphäre der Glasglocke Wasserdunst aufgenommen, so müßte die Flasche mit der Pflanze an Gewicht zugenommen haben; die Tabelle zeigt aber, daß das Gewicht abnahm, weil durch die Blätter noch Wasser abdunstete, am 15. verdunsteten 0,25, am 17. 0,15 Gr. Wasser aus der Pflanze. Wie früher schon angegeben, ist die Temperaturerhöhung im Laufe des Tages vielleicht die Ursache des Wasserabdunstens in den gesättigten Raum; höchstwahrscheinlich hat auch die Eigenwärme der Pflanze ihren Antheil daran. (Siehe den folgenden Nachtrag.)

V. Nachtrag zu Seite 109.

Julius Sachs über die Aufnahme von Wasserdunst durch die Wurzeln. [1]) „Ein einjähriger Camelliensteckling mit mehreren frischen

[1]) Landwirthschaftl. Versuchsstationen, Heft 4. Sachs, Wurzelstudien Seite 7.

Blättern wurde aus dem lockeren Boden genommen, die langen Wurzeln sorgfältig von allen anhängenden Bodentheilchen gesäubert. Darauf wurde die ganze Pflanze gewogen; ein Glasgefäß wurde am Boden einige Millimetres hoch mit Wasser bedeckt; die Wurzeln kamen in das Gefäß, ohne das Wasser zu berühren; der Stamm ging durch das Loch eines halbirten aufgeschliffenen und angekitteten Deckels; die Blätter befanden sich in der Luft; um den Stamm herum wurde die noch übrige Oeffnung des Deckels luftdicht verschmiert. So blieb der Apparat auf der Wage stehen, in der Nähe eines Fensters, wo die Temperatur zwischen 5°—6° R. schwankte. Nach vier Tagen betrug der Wasserverlust des ganzen Apparates, welcher nur durch die Transpiration der Blätter stattfand, 1,823 Gr.; der Apparat wurde auseinandergenommen, die Pflanze allein gewogen, es zeigte sich, daß sie 2,188 Gr. verloren hatte; demnach hatte sie nicht nur außerhalb des Apparates durch die Blätter, sondern auch innerhalb des Glases durch die Wurzeln Wasser ausgehaucht; dieses durch die Wurzeln ausgehauchte Wasser betrug (2,188—1,823 =) 0,465 Gr.

„Die Wurzeln der Camellia hatten also, obgleich sie sich in einem mit Dampf gesättigten Raume befanden, kein Wasser aufgenommen; der Umstand, daß sie sogar noch Wasser an den dampfgesättigten Raum abgegeben, läßt sich, wie ich in einer der kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien vorgelegten Arbeit (1857) gezeigt habe, dadurch erklären, daß innerhalb der Pflanze Wärmequellen existiren, welche den austretenden Wasserdampf auf eine höhere Spannung bringen, als der im umgebenden gesättigten Raume.“

Physiologische Versuche.

VI. Nachtrag zu Seite 110.

Schulz-Fleth's Theorie der chemisch-physikalischen Ausgleichung bei der Aufnahme der anorganischen Stoffe in die Pflanze. [1])

„Denken wir uns zunächst eine einfache Pflanzenzelle, der Einfachheit halber nur mit reinem Wasser gefüllt. Bringen wir dieselbe in gewöhnliches Fluß- oder Brunnenwasser, welches bekanntlich nicht unbedeutende Quantitäten von Salzen enthält, so wird ein endosmotischer Proceß eingeleitet, durch den sich die Flüssigkeit in der Zelle mit der sie umgebenden in's Gleichgewicht zu setzen strebt, welches nach längerer oder kürzerer Zeit wirklich hergestellt wird. Wird nun in der Zelle durch irgend einen Proceß Salz, z. B. kohlensaurer Kalk, aus der Lösung ausgeschieden, so ist das Gleichgewicht zwischen dem Zelleninhalte und der äußern Flüssigkeit

---

[1]) Poggendorff's Annalen Band 88. Schulz-Fleth: Ueber die Aufnahme der unorganischen Salze in die Pflanze.

gestört, es kann nur wieder hergestellt werden dadurch, daß eben so viel kohlensaurer Kalk, als abgesetzt wurde, in die Zelle eintritt. Mag nun die Membran das kohlensaure Kali oder Chlornatrium niemals leichter hindurch lassen als den kohlensauren Kalk; es kann in dem gesetzten Falle doch nur das Kalksalz von der Zelle aufgenommen werden. Wäre kohlensaures Kali von der Zellenflüssigkeit ausgeschieden, so müßte wieder nur kohlensaures Kali, wäre Chlornatrium ausgeschieden, nur dieses Salz eintreten.

„Die Zelle nimmt daher diejenigen Stoffe in größerer Menge auf, welche in größerer Menge in derselben ausgeschieden (verbraucht?) werden. Wäre in der Zelle Wasser assimilirt, oder irgendwo aus derselben ausgeschieden worden (wie durch die Verdunstung, d. Verf.), so kann nur wieder eben so viel reines Wasser (ohne Salze) von außen eintreten, weiter nichts, wenn das Gleichgewicht der Lösungen in- und außerhalb der Zellen nicht gestört werden darf."

So lange also aus einer Zelle nur Wasser verdunstet, sonst aber keine unorganischen Stoffe aus der Lösung im Zellsaft verschwinden, kann auch nur Wasser wieder von der Zelle aufgenommen werden; sobald dagegen irgend ein Stoff auf die eine oder andere Weise aus der Lösung verschwindet, muß derselbe in entsprechendem Maße wieder ersetzt werden.

„Enthält die Zelle nun, wie stets in der Natur, organische Substanzen, welche auf die äußere Flüssigkeit endosmotisch einwirken können, so stören diese das Gleichgewicht des Zelleninhaltes und der äußeren Flüssigkeit, wenn dasselbe auch in Bezug auf die anorganischen Salze hergestellt ist. Es muß nach Analogie der mit thierischen Membranen angestellten Versuche, dieses Gleichgewicht dadurch wieder hergestellt werden, daß Wasser eindringt, zugleich aber auch etwas von der organischen Substanz austritt. Tritt solchergestalt Wasser von außen in die Zelle, den Umfang derselben vergrößernd, so müssen mit demselben die anorganischen Salze in demselben Verhältnisse, in welchem sie darin gelöst sind, mit eintreten." Letzteres ist nicht der Fall; die Salze treten nach dem Grade ihrer Durchgangsfähigkeit in die Zelle ein; später aber kann eine Ausgleichung erfolgen, und nun erst würde man in der Lösung innerhalb der Zelle die gelösten Stoffe in demselben Verhältnisse zu einander finden, wie in der Lösung außerhalb der Zelle.

„Wir sehen also, es muß die wässrige Flüssigkeit in der Zelle, so weit dieselbe in vollem endosmotischem Verkehr mit dem äußern Wasser steht, dieselben Salze in demselben Verhältnisse gelöst enthalten, wie dieses. Die Salze aber, welche in der Zelle in größeren Quantitäten enthalten sind, müssen aus dieser wässrigen Flüssigkeit ausgeschieden sein." — —

„Die Pflanzenmembrane nun, welche die anorganischen Salze aufnehmen, müssen nothwendig für wässrige Lösungen durchdringbar sein, und werden sich daher, wenn wir nach den wenigen Versuchen, die wir besitzen, schließen dürfen, einander ziemlich ähnlich in der Aufnahme verhalten; so zwar, daß das relative Gewicht zwischen den Salzen, wie sie dieselben durchlassen können, ziemlich dasselbe sein muß.“ Nach diesen Worten zu urtheilen, war die verschiedene Durchgangsfähigkeit der gelösten Stoffe Schulz-Fleth noch nicht bekannt.

Die Diffusionswege in der Pflanze.

VII. Ergänzung zu Seite 131.

„Die Verdunstung von Wasser durch die Blätter führt größere Mengen Wasser durch die Pflanze, dessen vorherrschender Weg die Diffusion durch das Cambium ist.“ Nicht nur das Cambium allein, sondern auch die meisten andern Gewebstheile der Pflanze nehmen an der aufsteigenden Wasserströmung Theil; das Cambium aber, durch die größere Permeabilität seiner Zellen und den größeren Gehalt derselben an eiweißartigen Substanzen, ist am meisten geeignet hierzu, es wird den verdunstenden Zellen das Wasser am leichtesten und deshalb zumeist zuführen. Ich habe schon gezeigt, daß im Parenchym der Rinde gegen die nach unten diffundirenden gelösten Stoffe Wasser nach oben zu den Blättern diffundirt; eine Concentrirung des Inhaltes der Parenchymzellen des Blattes durch Verdunstung wird nicht minder Wasser durch das Parenchym der Rinde nach oben führen, und weil durch die Markstrahlen ein Diffusionsweg zwischen Rindenparenchym einerseits, und Mark und saftführendem jungen Holze anderseits besteht, so können auch diese Gewebe einen Antheil zu dem in den Blättern verdunstenden Wasser liefern. Ich habe schon mehrfach erwähnt, daß die Bastzellen höchstwahrscheinlich mit den verdunstenden Zellen des Blattes in Verbindung stehen; es ist bekannt, daß einzelne Bastzellen — die Milchsaftgefäße — oft sogar an die Luftlücken des Parenchyms grenzen: wir hätten demnach auch in den Bastzellen eine aufsteigende Wasserströmung anzunehmen. Kurz alle auf dem Querschnitte erscheinenden Gewebspartien, so lange deren Zellen einen flüssigen Inhalt haben, nehmen an der aufsteigenden Wasserströmung Theil, das Cambium aber ersetzt das verdunstende Wasser zumeist.

VIII. Ergänzung zu Seite 139. (Schluß des Capitels.)

Der vorzüglichste Diffusionsweg für die gelösten anorganischen Stoffe ist das Cambium, wovon wir uns ja experimentell überzeugen können. Bei vielen Pflanzen findet sich dicht unter der Oberhaut noch ein cambium-

ähnliches Gewebe, welchem natürlich auch die Stoffe direct aus der Wurzel zugeführt werden. Vielleicht haben auch die Bastzellen, wenigstens ein großer Theil derselben, eine besondere Bedeutung für die aufsteigende Diffusion der in der Wurzel aufgenommenen anorganischen Stoffe. Von den Cambiumzellen aus können sich bei vielen Pflanzen die gelösten Stoffe auf die angrenzenden Zellenpartien verbreiten, bei einer großen Reihe von Pflanzen wird dies aber nicht möglich sein, weil das Cambium durch impermeable Zellenschichten von den angrenzenden diffusiongestattenden Geweben abgeschlossen ist. In vielen Fällen, wo eine Abschließung des Cambiums zugegen ist, mögen die Markstrahlen eine Diffusion zwischen Cambium und Rindenparenchym möglich machen.

Heute noch bezeichnen viele Physiologen bei dikotyledonen Bäumen das junge Holz, den Splint, als den vorzüglichsten Weg des aufsteigenden rohen Pflanzensaftes — Wasser und die darin gelösten anorganischen Stoffe —. Das junge Holz, insofern seine Zellen noch einen flüssigen Inhalt führen, lassen Diffusionsströmungen zu; aber nur derjenige, welcher mit den Diffusionsvorgängen gar wenig bekannt ist, kann der Diffusion in dem jungen Holze eine besondere Wichtigkeit in Bezug auf die nach oben gehenden Strömungen zuschreiben. Wenn man bedenkt, daß die Zellen des jungen Holzes in ihrer Membran schon mehr oder weniger verdickt und impermeabel sind, und die Diffusionsströmungen nur durch die Porenkanäle, also nur auf die beschränkteste Weise, von Zelle zu Zelle gehen können, so bedarf es wol keines großen Scharfsinnes, um hier nicht den vorzüglichsten Weg für die aufsteigende Diffusion der Stoffe zu suchen. Was die Physiologie zu dieser Hypothese verführte, ist das allbekannte Ringeln der Bäume. Wird einem Baume die Rinde rundum in einer Länge von $1/2$ bis 1 Fuß genommen, abgeschält, so kann der Baum noch fortvegetiren, obgleich mit den Rindenschichten auch das Cambium fortgenommen wurde. In diesem Falle bahnt sich die Diffusion einen Weg durch das junge, noch saftführende Holz. Eine Diffusion durch das ältere Holz, durch welches Manche auch sogar den aufsteigenden Saftstrom gehen lassen, aus dessen Zellen schon alle Flüssigkeit verschwunden ist, kann nicht stattfinden; sie ist eine Unmöglichkeit, weil die Diffusion einen flüssigen Zelleninhalt nothwendig voraussetzt. Die Verdunstung in den Blättern, die Concentrirung des Zelleninhaltes daselbst ruft eine aufsteigende Diffusion des Wassers hervor, welche, wie gesagt, vorzüglich durch das Cambium sich bewegt, weil sie hier gerade am leichtesten von Statten gehen kann. Die ausgleichenden Diffusionsströmungen gehen im Cambium, Baste u. s. w. nach unten; an der abgeschälten Stelle des Stammes angekommen, bleibt ihnen kein anderer Weg, als durch die

Markstrahlen zum jungen Holze, weil dieses hier ja das einzige saftführende Gewebe ist. In dem jungen Holze nun weiter nach unten gehend, wird die ausgleichende Strömung immer nach derjenigen Gewebspartie hindrängen, welche am leichtesten die Diffusion des Wassers gestattet, welche, mit anderen Worten, am saftreichsten ist; sie wird demnach, sobald die entrindete Parthie passirt ist, nothwendig wieder nach dem Cambium und der Rinde durch die Markstrahlen zurückgelenkt werden müssen. Die Verdunstung, wenn der durch sie hervorgerufenen Diffusion der gangbare Weg genommen ist, erzwingt eine Bahn auf mindergangbarem Wege, in dem jungen Holze. Die Verdunstung in den Blättern führt bei einem Baume enorme Quantitäten Wasser durch den Stamm; ist diesem nun an irgend einer Stelle die Rinde und das Cambium weggenommen, so wird das Wasser an dieser Stelle allein nur durch das junge Holz diffundiren. Aber nicht nur das Wasser allein, auch die aus der Wurzel nach oben diffundirenden gelösten Stoffe müssen diesen Weg nehmen. Vielleicht werden die Zellen des jungen Holzes, durch welche nun so große Mengen Wasser gehen, unter Mitwirkung der gelösten Stoffe permeabler, so daß sie später leichter der Diffusion nach oben dienen können. Es ist möglich, daß durch das Mikroscop bei solchen entrindeten Bäumen eine Veränderung der Zellen des jungen Holzes in der Nähe der entrindeten Stelle gefunden wird.

Wenn auch nun fest steht, daß die Diffusion bei anormalen Zuständen sich einen Weg durch das junge Holz bahnen kann, so berechtigt uns das aber auch nicht im Mindesten zur Annahme, daß im normalen Leben des Baumes das junge Holz der vorzüglichste Weg der aufsteigenden Diffusionsströmungen — des aufsteigenden Saftstromes der Physiologen — sei. Es ist sonderbar, wie versessen man auf die Saftströmung durch das Holz ist, und daß man so einseitig mit Kunststücken, wie das Entrinden der Bäume, gegen physiologische Nothwendigkeiten argumentirt. Schleiden nannte diese Ansicht einmal ein Forstmannsmärchen oder dergleichen; trotzdem muthet jüngst nun ein Anhänger dieser veralteten Ansicht, nachdem er die Baumentrindung gehörig wiedergekaut und sogar noch Wunder aus dem amerikanischen Urwalde als Argumente auftischt, Schleiden zu, er möge dies Märchen glauben, er möge endlich doch einsehen, daß der aufsteigende Saftstrom durch das Holz gehe.[1]) Man kann daraus ersehen, wie hartnäckig oft an einer Ansicht festgehalten wird, die sich einmal eingelebt hat; freilich läßt sich ein solches Festhalten nur in jenen Kreisen erwarten, wo ein vielseitiges Prüfen physiologischer

---

[1]) Bonplandia 1860 S. 18 u. flg. Physiologische und systematische Beiträge.

Thatsachen nicht möglich ist oder vernachlässigt wird. Noch einmal wiederhole ich es, die Diffusion wendet sich vorwiegend dorthin, wo sie die permeabelsten Zellen findet — also nach dem Cambium mit seinen dünnmembranigen und höchstpermeablen Zellen, nicht nach dem jungen Holze, wo die Zellenmembrane zum größten Theile ihrer Fläche verdickt und impermeabel sind, und die Diffusion nur in beschränkter Weise durch die Porenkanäle stattfinden kann.

In welchen Beziehungen die Bastzellen zu den Diffusionsströmungen stehen, ist noch wenig aufgeklärt; viele Physiologen nehmen für sie den absteigenden Saftstrom — absteigende Diffusionsströmungen der im Parenchym gebildeten organischen Stoffe — in Anspruch, was jedoch für einen großen Theil der Bastzellen nicht wahrscheinlich zu sein scheint. Ich habe schon im Anhange darauf hingewiesen, daß manche Bastzellen, wenigstens alle langgestreckten mit der Nahrungsflüssigkeit in directem Verkehr stehen müssen; sie werden dann Stoffe aus der Nahrungsflüssigkeit aufnehmen, welche in ihnen in der Pflanze nach oben diffundiren, aber auch auf das die Bastzellen umgebende Parenchym sich seitlich verbreiten können. Aehnliches vermuthet auch Schacht.[1]) „Die Bastzellen scheinen außerdem die anorganischen Salze, z. B. den schwefelsauren Kalk u. s. w., von der Wurzel nach aufwärts zu führen und auf diesem Wege an benachbarte Parenchymzellen abzugeben, in welchen diese Salze als Krystalle abgeschieden werden. Für diese Vermuthung spricht mir das reiche, niemals fehlende Vorkommen der Krystalle in der Rinde unserer Bäume, wo dieselben immer in der unmittelbaren Nähe der Bastbündel auftreten (als vorzüglichste Beispiele: Quercus, Salix, Populus, Larix).“ Aus dem Parenchym werden dann auch Stoffe, vorzüglich die dort neugebildeten, in die Bastzellen hineindiffundiren und in ihnen zur Wurzel gelangen können. Vielleicht haben die Bastzellen bei jenen Pflanzen, deren Parenchym von dem Cambium in Bezug auf die Diffusion abgeschlossen ist, eine gewisse Bedeutung für die Wanderung der Stoffe aus der Wurzel in's Parenchym und umgekehrt. So lange wie die Bastzellen permeable Membrane haben, oder durch Porenkanäle in der verdickten Wand die Diffusion zulassen, kann es kaum anders sein, als daß die Stoffe des Parenchyms überhaupt in ihren Inhalt hinüberdiffundiren; so finden wir ja auch in manchen Bastzellen Stärkemehl. Meistens führen die Bastzellen eigenthümliche Stoffe, wie Alkaloide, Kautschuk u. dergl.; die Bildung dieser Stoffe ist wahrscheinlich auf die Gegenwart der aus dem Parenchym und direct aus der Wurzel dorthingelangten Stoffe begründet.

---

[1]) Schacht, Anat. und Physiol. der Gewächse. Seite 400.

Wenn nun auch in den Bastzellen nach unten gehende Diffusionsströmungen zugegen sein mögen, so glaube ich, sind wir doch nicht berechtigt, sie in ihrer Diffusionsthätigkeit den Zellen des Parenchyms, in welchen ja vorwiegend organische Stoffe nach unten diffundiren, gleichzusetzen. Die Thätigkeit der Bastzellen ist bei den verschiedenen Pflanzengruppen äußerst verschieden, weshalb wir hinsichtlich der Diffusionsströmungen auch eine große Verschiedenheit finden werden und Allgemeingültiges nicht erwarten dürfen. Man vergleiche nur einmal mit einander die Milchsaftgefäße mit ihren narkotischen Stoffen, mit Kautschuk 2c. und die verholzenden Bastzellen der Nadelhölzer, welche hinsichtlich ihres Inhaltes nicht wesentlich von den eigentlichen Holzzellen abweichen können.

Vertheilung und Verbreitung der Stoffe über die Pflanze.

IX. Nachtrag zu Seite 158.

Achse und Blatt. Trockensubstanz und Wasser. Meinen Arbeiten über das Verhältniß dieser Stoffe in Stengel und Blatt bei Cucurbita Pepo und Solanum nigrum schließt sich eine Analyse von W. Knop[1]) über Sommerrübsen an, die ich früher übersehen hatte und nicht verfehlen will, hier mitzutheilen. Die Pflanzen wurden zur Zeit „der vollkommen entfalteten Blüthen" gesammelt, Blätter und Stengel getrennt und auf ihren Gehalt an Trockensubstanz untersucht. Bei 100^0 getrocknet.

10 frische Pflanzen gaben 15 Gr. Blätter mit 2,432 Gr. Trockensubstanz
und 32 Gr. Stengel mit 3,490 — —

Es enthalten demnach 100 Gr. frische Pflanzensubstanz
in den Blättern 83,79 Gr. Wasser und 16,21 Gr. Trockensubstanz
in dem Stengel 89,10 — — — 10,90 — —

Diese Zahlen bestätigen also das Resultat meiner Untersuchung der Cucurbita Pepo und des Solanum nigrum, daß nämlich bei krautigen Pflanzen der Stengel wasserreicher ist als das Blatt.

Knop untersuchte bei dem Sommerrübsen auch das Verhältniß der anorganischen Stoffe in Stengel und Blatt.[2]) Ich will die gefundenen Zahlen hier mittheilen. Die Pflanzentheile wurden im Platinschälchen eingeäschert; die Blätter hinterlassen, jenachdem man schwächer oder stärker glüht, Schwefelsäure und Kohlensäure mehr oder weniger austreibt, 22-23 % Asche, die Stengel 9,4 %, bezogen auf Trockensubstanz. In der folgenden Tabelle findet man den Gehalt der Trockensubstanz an den einzelnen anorganischen Stoffen; ich habe aus diesen Zahlen den Gehalt der frischen

[1]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen, Heft 2, Seite 171.
[2]) Ebendaselbst Seite 172.

Pflanzensubstanz an den genannten Stoffen berechnet und der Tabelle beigefügt. Trockensubstanz bei 100° gewonnen.

Sommerrübsen.

	100 Trockensubstanz enthalten		100 frische Substanz enth.	
	in den Blättern	im Stengel	in den Blättern	im Stengel
Kieselsäure	1,11	0,14	0,180	0,015
Schwefelsäure [1])	1,34	2,22	0,217	0,242
Schwefelsäure [2])	1,82		0,295	
Chlor	1,80	0,43	0,292	0,047
Phosphorsäure	1,28	0,41	0,207	0,045
Eisenoxyd	1,17	0,06	0,190	0,007
Kalk	8,28	2,02	1,341	0,220
Talkerde	0,76	0,32	0,123	0,035
Kali	4,26	2,84	0,690	0,310
Natron	0,84	0,74	0,136	0,081
Aschenbestandtheile	22,66	9,18	3,671	1,002

Auffallend ist die große Menge Eisenoxyd und Kalk in dem Rübsen und der beiden bedeutendes Vorwiegen in den Blättern; beide sind in den Blättern in ausgeschiedener Form in größter Menge wahrscheinlich vorhanden; während in 100 frischer Stengelsubstanz verschwindende Mengen Eisenoxyd gefunden wurden, während also das Zellwasser des Stengels in Bezug auf Eisenoxyd nur äußerst niedrig concentrirt sein konnte, enthält die frische Blattsubstanz bedeutende Mengen, welche aber zum größten Theil ausgeschieden sein mußten. Bittererde und Phosphorsäure herrschen in den Blättern vor; jedenfalls aber wird bei der Ausbildung der Samen, wie bei dem Hafer, eine Diffusion dieser Stoffe aus den Blättern durch die Stengel nach dem Samen eintreten u. s. w.

X. Nachtrag zu Seite 184.

Anderson's Turnipsanalysen. Ich habe die Pflanzenmasse Eines englischen Acre's und ihre Bestandtheile zu Ende einer jeden Periode berechnet und in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

[1]) Schwefelsäure durch Wasser ausziehbar. Sie wurde durch angesäuertes Wasser im Verdrängungsapparate aus den Blättern ausgezogen.

[2]) Schwefelsäure = 0,7264 Schwefel entsprechend. Diese Schwefelsäure ist aus dem Schwefel, der in organischer Verbindung in der Pflanze enthalten ist, durch Oxydation mit Salpetersäure erst gebildet.

Die Pflanzenmasse Eines engl. Acre's zu Ende einer jeden Periode bestand in engl. Pfunden aus

	Periode I.	Periode II.	Periode III.	Periode IV.
		Blätter		
Wasser.	202	11629	17107	9913
Trockensubstanz . . .	17,4	1164	2091	1295
Eiweißkörper.	5,50	235,39	145,92	268,99
Stickstofffreie Substz.	10,49	688,26	1570,56	814,82
Asche	1,36	240,51	374,40	210,71
		Wurzel		
Wasser.	5,84	2483	12963	33297
Trockensubstanz . . .	1,36	279	1436	3495
Eiweißkörper.	0,45	29,08	201,60	434,15
Stickstofffreie Substz.	0,66	225,38	1087,20	2328,93
Asche	0,24	24,31	146,88	732,16

Nach dieser Tabelle wurde die Zunahme der einzelnen Stoffe für einen engl. Acre auf Seite 185 berechnet.

XI. Nachtrag zu Seite 185.

Anderson's Turnipsanalysen. Gehalt und Zunahme Eines engl. Acres Turnips an anorganischen Stoffen zu Ende einer jeden Periode, nach analytischen Daten Anderson's berechnet:

Ein engl. Acre enthält zu Ende einer jeden Periode in engl. Pfunden

	Periode I.	Periode II.	Periode III.	Periode IV.
	in den Blättern			
Eisenoxyd	0,09	6,91	8,45	5,60
Kalk	0,30	35,18	48,77	14,23
Magnesia	0,08	15,48	27,65	28,81
Kali	0,13	41,45	87,17	32,62
Phosphorsäure . . .	0,15	29,55	39,17	23,87
Schwefelsäure	0,13	37,61	48,19	29,36
Kieselsäure	0,13	7,29	10,18	7,51
	in den Wurzeln			
Eisenoxyd	0,001	0,55	2,02	9,93
Kalk	0,03	2,07	12,52	88,67
Magnesia	0,01	0,99	5,90	36,79
Kali	0,05	7,84	42,91	205,29
Phosphorsäure . . .	0,03	2,98	16,27	74,31
Schwefelsäure	0,03	2,24	24,48	95,66
Kieselsäure	0,02	0,66	4,03	22,81

Ein engl. Acre hatte zu Ende einer jeden Periode zugenommen (resp. abgenommen) in engl. Pfunden

	Periode I.	Periode II.	Periode III.	Periode IV.
	in den Blättern			
Eisenoxyd	0,09	6,82	1,54	[1]— 2,85
Kalk	0,30	34,88	13,59	—34,54
Magnesia	0,08	15,40	12,17	+ 1,16
Kali	0,13	41,32	45,72	—54,55
Phosphorsäure . . .	0,15	29,40	9,62	—15,30
Schwefelsäure	0,13	37,48	10,58	—18,83
Kieselsäure	0,13	7,16	2,89	— 2,67
	in den Wurzeln			
Eisenoxyd	0,001	0,55	1,47	7,91
Kalk	0,03	2,04	10,45	76,15
Magnesia	0,01	0,98	4,91	30,89
Kali	0,05	7,79	35,07	162,38
Phosphorsäure . . .	0,03	2,95	13,29	58,04
Schwefelsäure	0,03	2,21	22,24	71,18
Kieselsäure	0,02	0,64	3,37	18,78

[1]) — bedeutet abgenommen, + zugenommen.

Gedruckt bei E. Polz in Leipzig.

Schumacher, Wilhelm

Die Diffusion in ihren Beziehungen zur Pflanze Theorie der Aufnahme, Vertheilung und Wanderung der Stoffe in der Pflanze ; ein Beitrag zur Lehre von der Ernährung der Pflanze für Pflanzenphysiologen, Agricultur-Chemiker, Landwirthe und sonstige Freunde der Pflanzenkunde

Leipzig 1861